Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й

В Е С Т Н И К

П О В О Л Ж Ь Я

№6 2013

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Казань

2013

УДК 60
ББК 30-1
Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №6 2013г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – 526 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № 12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.; *В.С. Минкин* – д.х.н., проф.;

В.К. Половняк – д.х.н., проф.; *Х.Э. Харлампиди* – д.х.н., проф.

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60
ББК 30-1

ISSN 2079-5920 **© Научно-технический вестник Поволжья, 2013 г.**

СОДЕРЖАНИЕ

Б.Н. Иванов, В.С. Минкин, М.И. Билалов, Р.Н. Костромин СТРУКТУРА ИННОВАЦИОННОГО НЕФТЯНОГО КЛАСТЕРА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН (Состояние и перспективы). ЧАСТЬ 2. 16

В.К. Половняк, Ш.В. Садетдинов, С.В. Житарь РАСТВОРИМОСТЬ И ФИЗИКО – ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ СИСТЕМ $MeBO_2$ – $MeNO_2$ – (Me-Li, Na, K) – H_2O ПРИ 25°С 22

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.Л. Кашинцева, М.И. Панфилова НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ АМОРФНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК 26

А.А. Корниенко, А.А. Мусеев, А.Н. Токарев, А.А. Лежнева ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ВСТАВОК» 29

Г.Э. Лазаренко, В.Р. Агафонов, С.М. Тулин, В.А. Ружников, Д.Г. Лазаренко ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КОЛЛЕКТОРА ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ 35

О.Ю. Сметанников, И.В. Самусев, Е.В. Субботин МОДЕЛЬ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ФОТОПОЛИМЕРА 39

С.А. Соловьева К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТРЕТЬЕГО РОДА МЕТОДОМ КОЛЛОКАЦИИ 44

Д.В. Фирстов, Д.В. Бережной, Е.В. Биряльцев ОДИН ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ГРАНИЧНОЙ СРЕДЫ ДЕМПФИРОВАНИЯ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ 49

Д.В. Фирстов, Д.В. Бережной, А.А. Саченков, Л.Р. Секаева ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 2D И 3D СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ 53

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

П.А. Агатьев, А.В. Саматов, Р.М. Шленев, А.В. Тарасов СУЛЬФОХЛОРИРОВАНИЕ ЭФИРОВ 2-ТИОФЕНКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ 57

И.В. Артамонова, И.Г. Горичев, Е.Н. Чернышова, Е.Б. Годунов, С.М. Русакова РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ РАСТВОРЕНИЯ КАЛЬЦИТА И РАСЧЕТА КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ 61

С.Г. Буршнева, О.Б. Кузнецова, Н.В. Смирнова ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДМЕТОВ В РАСТВОРЕ ЩЕЛОЧНОГО СУЛЬФИТА 66

Н.В. Верещагина, Т.Н. Антонова, И.Г. Абрамов, Г.Ю. Копушкина ОКИСЛЕНИЕ ДИЦИКЛОПЕНТЕНА ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ЭПОКСИДА В УСЛОВИЯХ МЕЖФАЗНОГО КАТАЛИЗА 69

Е.Б. Годунов ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РАСТВОРЕНИЯ ОКСИДОВ МАРГАНЦА В РАСТВОРАХ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ 73

О.В. Доброхотов, Д.В. Луференко, И.Г. Абрамов МОНОМЕРЫ АВ-ТИПА, СОДЕРЖАЩИЕ ДИАЗОМОСТИК 77

Н.С. Комиссарова, А.А. Хасанов, С.С. Комиссарова, В.А. Ефимов, Ю.А. Родионов К ВОПРОСУ О СТЕРЕОСЕЛЕКТИВНОСТИ МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛООКТЕНА 81

А.С. Фролов, Е.А. Курганова, Г.Н. Кошель, Е.В. Самцова, Н.Д. Кукушкина ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА 2,5-КСИЛЕНОЛА НА ОСНОВЕ П-КСИЛОЛА 86

А.А. Хасанов, В.А. Ефимов, С.С. Комиссарова, Н.С. Комиссарова, Ю.А. Родионов РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ 89
Ж.В. Чиркова, М.В. Кабанова, С.И. Филимонов, И.Г. Абрамов, Е.А. Смирнова СИНТЕЗ НОВЫХ ЗАМЕЩЁННЫХ ХИНОКСАЛИН-6,7-ДИКАРБОНИТРИЛОВ 93
Р.М. Шленев, П.А. Агатьев, И.М. Слободянюк, А.В. Тарасов СИНТЕЗ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТИАЗОЛО-[3,2-a]-ХИНАЗОЛИН-5-ОНА НА ОСНОВЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХЛОРАНГИДРИДОВ ОРТО-ГАЛОГЕНАРОМАТИЧЕСКИХ КИСЛОТ С 2-АМИНОТИАЗОЛОМ 97

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Е.В. Агалаков, О.В. Караваева, Д.А. Страбыкин МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИИ ИЗ ЗАДАННОЙ ФАЗЫ 101
В.И. Ампилов, А.А. Лестева АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ОБУЧЕНИЯ В СРЕДЕ SOLIDWORKS ENTERPRISE PDM 108
А.С. Андреев, Е.А. Кудашова, О.А. Перегудова О МОДЕЛИРОВАНИИ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ПРЯМОГО МЕТОДА ЛЯПУНОВА 113
П.И. Андреева, Е.Ю. Сергеевцев, А.В. Голованов, С.В. Щербина ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО - РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КУПОЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ АТОМНОГО РЕАКТОРА ВВЭР-1000 116
И.А. Анисимов, Р.А. Хлопотов ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДА ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЯ НА РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА ОТ РЕЖИМА РАБОТЫ АКПП И ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ 120
Н.Н. Анохин, В.Л. Мондрус, В.А. Смирнов ЧИСЛЕННЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ФАСАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ 123
А.Р. Барашев, С.В. Карелов, С.В. Мамяченков, О.С. Анисимова, В.В. Егоров ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ КАДМИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ 127
Ю.А. Барков, А.С. Бестужева ФОРМЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЯ 130
А.О. Барышов ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЗАТОРА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ 133
В.Ф. Беккер ОРГАНИЗАЦИЯ ДВУХУРОВНЕВОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В ТУРБУЛЕНТНОЙ ГИДРОДИНАМИКЕ ТРЕХФАЗНОГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ 137
С.Л. Белоусов, И.Е. Евдокимов, А.А. Журавлев, Б.Ю. Ященко, А.А. Яковлев, В.В. Донских ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОПЛА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ 141
С.Л. Белоусов, И.Е. Евдокимов, А.А. Журавлев, Б.Ю. Ященко, А.А. Яковлев, В.В. Донских ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОПЛА МОДЕЛЬНОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ 144
А.В. Белянин, О.В. Егорова, Н.В. Ливенцова МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ПРОИЗВОДСТВА ФТОРА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА 148
Н.С. Бессонова, Т.В. Германова ОЦЕНКА ИНСОЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ РАЗМЕЩЕНИИ ОБЪЕКТА УПЛОТНИТЕЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ 153

А.С. Бестужева ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ В БЕТОННОЙ ПЛОТИНЕ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЯ 157
С.В. Бирюков ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ В СФЕРЕ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНЫХ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ПРОГРАММ 160
П.В. Борков ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФУРАНОВЫХ СМОЛ 163
В.Н. Ботяшин, Ю.Д. Козинер ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ТУГОПЛАВКИХ ТАНТАЛОВЫХ СПЛАВОВ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ 166
А.П. Буйносов, Д.С. Денисов ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ МАРКИРОВКИ БАНДАЖЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ 2ЭС10 170
А.П. Буйносов, А.М. Кислицын МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОВОЗА 174
А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков ПРИМЕНЕНИЕ ПИРАМИДЫ ГЕНРИХА ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ 178
А.П. Буйносов, И.О. Шепелева УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ ЗА СЧЕТ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ГРЕБНЕЙ БАНДАЖЕЙ 182
А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, Б.С. Юшков, В.А. Бурмистров ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕ- И ГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ ДОРОГ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ГРУНТОВ 186
А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, Б.С. Юшков, В.А. Бурмистров К ВОПРОСУ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКОВ СЛУЖБЫ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ 190
Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМАХ В МОДЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ 193
Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский, Ю.В. Соколкин РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА КОРПУСА НА РЕЗОНАНСНЫЕ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМЕ «ГАЗ-КОНСТРУКЦИЯ» 197
С.Н. Бутырский, О.А. Ковальчук ТЕХНОГЕННОЕ ВИБРАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЗДАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ 201
А.М. Васильев, Н.А. Олейников ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНЫМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА 204
Д.В. Вожегов, Д.А. Страбыкин МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕДУКТИВНОГО ВЫВОДА ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ЗАКЛЮЧЕНИЮ УТВЕРЖДЕНИЙ 208
Ю.Д. Волков, П.Н. Кочугаев МОДЕЛИ ЭКСПЕРИМЕНТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ 215
Д.Ф. Гайнутдинова, А.В. Козлова, В.Я. Модорский, Е.В. Мехоношина ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВИБРАЦИИ 219
А.В. Гинзбург, А.А. Скиба ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ СВЯЗАННЫХ С ФОРМИРОВАНИЕМ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПОЛИТИКИ И РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ 223
П.А. Горбоконенко, Т.А. Деменкова, В.С. Корзинкин, Е.Ф. Певцов АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ ЦОС НА ОСНОВЕ ПЛИС 226

М.А. Гордеев-Бургвиц, А.В. Михайлин, Кнут Хартенштейн, Хайко Киршке НАНО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПИТЬЕВЫХ ВОД И ИХ ОБРАБОТКА В ФРГ НА ПРИМЕРЕ ОБЛАСТИ СЕВЕРНАЯ – РЕЙНСКАЯ ФЕСТВАЛИЯ И МОСКВЫ 236
М.В. Грушичева ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛИНЫ ПРИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ 239
М.В. Грушичева РАЗРАБОТКА УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ДАТЧИКОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА БАЗЕ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 243
Н.В. Данилина ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ «ПЕРЕХВАТЫВАЮЩИХ» СТОЯНОК 247
М.А. Дашевский, В.Л. Мондрус, Д.К. Сизов, С.Н. Шутовский ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЯХ БЫВШЕЙ ГОРОДСКОЙ УСАДЬБЫ XVIII-XIX вв., ВХОДЯЩИХ В КОМПЛЕКС ЗДАНИЙ ГМИИ им. А.С. ПУШКИНА 251
А.В. Жданов КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА 254
А.В. Жданов, И.В. Волкова АНАЛИЗ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ СИСТЕМ ОБХОДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА 258
В.Г. Жуков, В.В. Бухтояров АЛГОРИТМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С РАДИАЛЬНЫМИ БАЗИСНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 262
В.А. Завьялов, В.А. Величкин, Р.С. Ульянов, И.А. Шиколенко ДОСТИЖЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОХОЖДЕНИЯ ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НА БАЗЕ АВТОМАТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ СИД 270
В.А. Завьялов, В.А. Величкин КОМПЕНСАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ ДВИЖЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА 274
С.Н. Зайцев РАЗРАБОТКА МЕТОДА МАЛЫХ ФЛЮЕНСОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ СВЕТОДИОДОВ 278
А.А. Захаров, А.Ю. Тужилкин ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН НА ОСНОВЕ СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ 285
С.А. Зинкин, М.Е. Федосин, А.С. Федосин РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ И АППАРАТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ-ЦЕНТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГИКО-АЛГЕБРАИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ 289
А.Н. Ивашкин, П.В. Борков ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК И ГРАНУЛОМЕТРИИ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ 294
Д.П. Ильященко ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНВЕРТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 1.0503(DIN, ГЕРМАНИЯ) 297
А.О. Казакова ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗГИБА ТОНКОЙ ПЛАСТИНКИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ 301
А.И. Калашников, Д.В. Моисеев, С.Г. Моисеева О ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ В МИССИИ «РАДИОАСТРОН» 305

В.В. Карманов, Н.В. Винокуров, А.Н. Волегов РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ПЛАСТИН ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1151АТ ТОЛЩИНОЙ 3 ММ 309
Л.Л. Картовицкий, В.М. Левин, А.А. Яковлев НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ НЕРАВНОВЕСНЫХ СТРУЙ В ПРОСТРАНСТВЕННОМ КАНАЛЕ 313
А.И. Каяшев, Т.В. Сазонова, В.Р. Сабанчин, В.А. Суликова ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОМЕРНОГО ЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКАМИ ТЕРМООБРАБОТКИ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ 316
А.Ф. Керножитская, Т.В. Германова ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ АВТОТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К АВТОМАГИСТРАЛЯМ 323
В.И. Классен, Ю.Е. Седельников АНТЕННЫ Ka ДИАПАЗОНА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ЧАСТЬ 1. ПЕЧАТНЫЕ АНТЕННЫ 326
В.И. Классен, Ю.Е. Седельников АНТЕННЫ Ku ДИАПАЗОНА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ. ЧАСТЬ 2 АНТЕННЫ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ 331
А.К. Клочко, А.Р. Клочко, Г.Р. Арутюнян О ВАЖНОСТИ НЕДОПУЩЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД 335
А.К. Клочко, А.Р. Клочко, Г.Р. Арутюнян КРИТЕРИЙ ВЫБОРА СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПАРЫ АБОНЕНТОВ К ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ МАГИСТРАЛИ 338
Г.Е. Кокиева СОСТОЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 341
Е.В. Котельников СТРУКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДСМ-СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ 344
Е.Ф. Кузнецова, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, Г.М. Соболев, М.А. Григорьев ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛИТЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ КАМНЕОБРАБОТКИ 347
П.В. Ликин, Д.А. Ляхманов, Э.С. Соколова РЕАЛИЗАЦИЯ ПАКЕТНОГО ФИЛЬТРА В КОНТРОЛЛЕРЕ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ 350
Т.В. Мальцева, А.В. Черных ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОУПРУГОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ СВАИ 354
М.В. Мартынюк, Д.В. Зырин, А.Б. Лоскутов, А.А. Лоскутов ОЦЕНКА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ СЕТИ 359
Е.В. Мехоношина, В.Я. Модорский, А.В. Козлова, Д.Ф. Гайнутдинова ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ И ДАВЛЕНИЯ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ КАВИТАЦИИ 364
В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ РДТТ 368
В.Л. Мондрус, Д.К. Сизов ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНОГО МЕТОДА ПРИ РАСЧЕТЕ ПЛАСТИНКИ С ОТВЕРСТИЯМИ 372
П.С. Мочалов, С.Н. Калашников МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И КОМПЛЕКСОВ В 3D – ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕДАХ 376

Д.А. Муслимов, А.С. Лелюхин, М.В. Назаров ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА МИНИМИЗАЦИИ НАПРАВЛЕННОГО РАСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРА ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО КРИВОЙ ОСЛАБЛЕНИЯ 380
Я.Е. Немирович, И.А. Анисимов ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ 384
М.А. Николаев, А.Г. Юферов АЛГОРИТМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВАРИАНТНЫХ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ 388
А.А. Орлов, А.В. Астафьев МЕТОД ОБЪЕДИНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ СИМВОЛЬНЫХ МАРКИРОВОК 394
Е.В. Равковская, В.О. Каледин ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЛОКОНАНИЗОГРИДНОЙ СЕТЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ 397
М.А. Ромашкин РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ 402
М.Ю. Сартасова МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ДЛЯ РАСЧЕТА ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ 408
В.В. Севастьянов МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛА ГЕРМЕТИЗАЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА 411
С.А. Семенов РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ГРАФИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЯХ 415
А.А. Симоненко ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИЗКОЧАСТОТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ 422
Э.С. Соколова, Д.В. Дмитриев, А.И. Пашковский МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МНОГОРЕЖИМНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВ СОСТОЯНИЙ 427
Э.С. Соколова, С.Н. Капранов, Т.И. Балашова ПОИСК ПОЛНОГО МНОЖЕСТВА МИНИМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 431
А.М. Станкевич ТИПОВАЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ 435
В.А. Столярчук КОНЦЕПЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МКЭ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ 438
А.Х. Тазмеев УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ПЛАЗМЫ С ЖИДКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ 442
А.А. Ташкинов, И.А. Арбузов, П.В. Писарев, В.Я. Модорский, Р.В. Бульбович, Д.В. Щенятский, Б.Е. Кириевский ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧИСЛА ЛОПАТОК РАБОЧИХ КОЛЕС НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ 446
А.А. Ташкинов, И.А. Арбузов, П.В. Писарев, В.Я. Модорский, Р.В. Бульбович, Д.В. Щенятский, Б.Е. Кириевский ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИИ В ЛАБИРИНТНОМ УПЛОТНЕНИИ 450
О.П. Тимофеева, М.В. Мартынюк, М.А. Степаненко БИКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТА НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ Н. НОВГОРОДА 454
О.А. Трояножко, И.Д. Колесин АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫБОРА ВИДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ РАНЖИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ 457
П.В. Трусов, Н.С. Кондратьев, В.В. Карманов, А.С. Нуртдинов РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ТРЕНИЯ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ 462

Т.Е. Фазлутдинова, В.Н. Куракина КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СЛОИСТОЙ СРЕДЕ 466
В.Г. Фетисов, И.В. Фетисов, И.И. Панина НЕКОТОРЫЕ ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ H_λ-ОПЕРАТОРЫ 469
П.А. Хаванов, Ю.Г. Маркевич ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 474
Р.Р. Хайруллин, Н.Н. Сафронов СИНТЕЗИРОВАНИЕ СТАЛИ 38Х2МЮА ПРОЦЕССОМ СВС ИЗ ДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ 479
В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых, В.А Нестеров ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ АГРЕГАТОВ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ 482
А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА В УСЛОВИЯХ ИНТЕГРАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ И ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ СИЛ 485
К.И. Чижик, А.В. Бабин ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ВЛАГИ ВОЗДУХА 489

АННОТАЦИИ 492

THE RELEASE MAINTENANCE

B.N. Ivanov, V.S. Minkin, M.I. Bilalov, R.N. Kostromin STRUCTURE OF THE INNOVATIVE OIL CLUSTER OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN (Condition and prospects) PART II. 16
V.K. Polovnyak, Sh.V. Sadetdinov, S.V. Zhitar SOLUBILITY AND PHYSICAL - CHEMICAL PROPERTIES OF SOLUTIONS SYSTEMS $MeBO_2$ - $MeNO_2$ - (Me-Li, Na, K) - H_2O AT 25°C 22

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

V.L. Kashintseva, M.I. Panfilova SOME OF THE ISSUES OF MANUFACTURING AND RESEARCH AMORPHOUS THIN FILMS 26
A.A. Kornienko, A.A. Museev, A.N. Tokarev, A.A. Lezhneva THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF "INTELLECTUAL MEASURING INSERT" 29
G.E. Lazarenko, V.R. Agafonov, S.M. Thulin, V.A. Ruzhnikov, D.G. Lazarenko EXPERIMENTAL STUDY OF THE NANOSTRUCTURED CARBON MATERIALS AS A COLLECTOR OF THE THERMIONIC CONVERTER 35
O.Yu. Smetannikov, I.V. Samusev, E.V. Subbotin MODEL OF PHOTOPOLYMER THERMOMECHANICAL BEHAVIOR 39
S.A. Solov'eva ON THE QUESTION OF SOLUTION OF INTEGRAL EQUATIONS OF THE THIRD KIND BY COLLOCATION METHOD 44
D.V. Firstov, D.V. Berezhnoi, E.V. Biryaltsev ONE APPROACH TO THE REALIZATION OF BOUNDARY ENVIRONMENT DAMPING IN THE NUMERICAL SOLUTION OF DYNAMIC PROBLEMS OF CONTINUUM MECHANICS 49
D.V. Firstov, D.V. Berezhnoi, A.A. Sachenkov, L.R. Sekaeva NUMERICAL SIMULATION OF 2D AND 3D SEISMIC MECHANICAL MODELS 53

CHEMICAL SCIENSEC

P.A. Agatyev, A.V. Samatov, R.M. Shlenev, A.V. Tarasov CHLOROSULFONATION OF THIOPHENE-2-CARBOXYLIC ACID ESTERS 57
I.V. Artamonova, I.G. Gorichev, E.N. Chernishova, E.B. Godunov, S.M. Rusakova DEVELOPMENT OF CALCITE DISSOLUTION PROCESSES TECHNIQUE EXPERIMENTAL STUDYING AND CALCULATION OF KINETIC PARAMETERS 61
S.G. Burshneva, O.B. Kuznetsova, N.V. Smirnova APPLICATION OF ULTRASONIC TO THE STABILIZATION TREATMENT OF ARCHAEOLOGICAL IRON IN ALKALINE SULFITE SOLUTION 66
N.V. Vereschagina, T.N. Antonova, I.G. Abramov, G.Y. Kopushkina OXIDATION OF DICYCLOPENTENE WITH HYDROGEN PEROXIDE TO PRODUCE THE CORRESPONDING EPOXIDE IN THE CONDITIONS OF PHASE-TRANSFER CATALYSIS 69
E.B. Godunov THE KINETICS OF DISSOLUTION OF MANGANESE OXIDE IN SULFURIC ACID SOLUTIONS OF HIGH CONCENTRATION 73
O.V. Dobrohotov, D.V. Luferenko, I.G. Abramov AB-TYPE MONOMERS WITH A DIAZO-BRIDGE 77
N.S. Komissarova, A.A. Hasanov, S.S. Komissarova, V.A. Efimov, Ju.A. Rodionov THE QUESTION OF STEREOSELECTIVITY METATHESIS POLYMERIZATION OF CYCLOOCTENE 81
A.S. Frolov, E.A. Kurganova, G.N. Koshel, E.V. Samtsova, N.D. Kukushkina OXYDATIVE SYNTHESIS OF 2,5-XYLENOL FROM P-XYLENE 86

A.A. Hasanov, V.A. Efimov, S.S. Komissarova, N.S. Komissarova, Ju.A. Rodionov DEVELOPMENT PROGRAM FOR THE CALCULATION OF MOLECULAR MASS DISTRIBUTION OF POLYMERS 89
Zh.V. Chirkova, M.V. Kabanova, S.I. Filimonov, I.G. Abramov, E.A. Smirnova SYNTHESIS OF NEW SUBSTITUTED QUINOXALINE-6,7-DICARBONITRILES 93
R.M. Shlenev, P.A. Agatyev, I.M. Slobodyanyuk, A.V. Tarasov SYNTHESIS OF NEW DERIVATIVES OF THIAZOLO-[3,2-a]-QUINAZOLINE-5-ONS BASED ON INTERACTION OF CHLOROANHYDRIDES OF ORTHO HALOAROMATIC ACIDS WITH 2-AMINOTHIAZOLE 97

ENGINEERING SCIENCE

E.V. Agalakov, O.V. Karavaeva, D.A. Strabikin LOGICAL METHOD OF FORECASTING THE DEVELOPMENT OF THE SITUATION FROM A GIVEN PHASE 101
V.I. Ampilov, A.A. Lesteva AUTOMATED SYSTEM FOR DEVELOPMENT OF TECHNICAL DOCUMENTATION WITH ELEMENTS OF TRAINING IN SOLIDWORKS ENTERPRISE PDM 108
A.S. Andreev, E.A. Kudashova, O.A. Peregudova DIRECT LYAPUNOV METHOD IN THE DIGITAL CONTROL MODELING 113
P.I. Andreeva, E.U. Sergeevcev, A.V. Golovanov, S.V. Sherbina EXPERIMENTAL-DESIGN RESEARCH ON DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE NUCLEAR REACTOR WWER-1000 SHELL 116
I.A. Anisimov, R.A. Hlopotov THE JUSTIFICATION OF RESEARCH'S TOPICALITY OF DEPENDENCE OF FUEL CONSUMPTION WHEN THE ENGINE IN IDLING, DEPENDING ON THE MODE OF THE AUTOMATIC TRANSMISSION FOR THE EFFECTS OF TEMPERATURE CONDITIONS 120
N.N. Anokhin, V.L. Mondrus, V.A. Smirnov COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF TERMAL STRESSES IN FACADE STRUCTURES 123
A.R. Barashev, S.V. Karelov, S.V. Mamyachenkov, O.S. Anisimova, V.V. Egorov REVIEW OF PROCESSING SECONDARY CD-CONTAINING WASTE 127
Y.A. Barkov, A.S. Bestusheva FORMS OF SELF-OSCILLATIONS OF A CONCRETE DAM WITH THE ELASTIC PROPERTIES REASON 130
A.O. Baryshov RESEARCH BATCHER BULK MATERIALS 133
V.F. Becker ORGANIZATION DUPLEX NONUNIFORMITY IN THE THREE-PHASE FLUIDIZED-HYDRODYNAMIC TURBULENCE 137
S.L. Belousov, I.E. Evdokimov, A.A. Zhuravlev, B.J. Yaschenko, A.A. Yakovlev, V.V. Donskih NUMERICAL SIMULATION OF INFRARED JETS AIRCRAFT ENGINE 141
S.L. Belousov, I.E. Evdokimov, A.A. Zhuravlev, B.J. Yaschenko, A.A. Yakovlev, V.V. Donskih EXPERIMENTAL STUDY OF INFRARED NOZZLE MODEL AIRCRAFT ENGINE 144
A.V. Belyanin, O.V. Egorova, N.V. Liventsova THE MECHANISM OF ABNORMAL SITUATIONS FORMATION IN THE FLUORINE PRODUCTION ELECTROLYZER MEASURING SYSTEM MODEL FOR COMPUTER SIMULATOR 148
N.S. Bessonova, T.V. Germanova ASSESSMENT INSOLATION REGIME OF THE TERRITORY AT DIFFERENT TARGET PLACEMENT SEALING BUILDINGS 153
A.S. Bestusheva DYNAMIC LOADS IN A CONCRETE DAM WITH AN EARTHQUAKE OF THE ELASTIC PROPERTIES REASON 157
S.V. Biryukov USING COMPUTER PROGRAMS TO IMPROVE THE QUALITY OF EDUCATION IN THE HEAT AND GAS SUPPLY AREA 160
P.V. Borkov STUDY STRAIN-STRENGTH CHARACTERISTICS OF COMPOSITES BASED ON FURAN RESINS 163

V.N. Botyashin, Y.D. Koziner OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF GRINDING OF TANTALIC ALLOYS ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELS 166
A.P. Buinosov, D.S. Denisov INFLUENCE OF DEPTH OF MARKING OF BANDAGES ON RELIABILITY OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES 2ES10 170
A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn METHODS OF THE AUTOMATED MEASUREMENT OF PARAMETERS OF WHEEL COUPLES AT ELECTRIC LOCOMOTIVE MOVEMENT 174
A.P. Buinosov, D.Yu. Kozakov APPLICATION OF THE PYRAMID OF HENRY FOR THE ASSESSMENT OF TRAFFIC SAFETY OF ELECTRIC TRAINS 178
A.P. Buinosov, I.O. Shepeleva INCREASE IN THE RESOURCE OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES AT THE EXPENSE OF PLASMA HARDENING OF CRESTS OF BANDAGES 182
A.M. Burgonutdinov, O.N. Burmistrova, B.S. Yuchkov, V.A. Burmistrov INCREASE THE RELIABILITY OF OIL AND GAS PRODUCTION ROADS ELECTROCHEMICALLY GROUTING 186
A.M. Burgonutdinov, O.N. Burmistrova, B.S. Yuchkov, V.A. Burmistrov GO TO INCREASE LIFETIME OF THE ROAD FOREST ROAD CONSTRUCTION 190
L.N. Butimova, V.Ya. Modorksy RESEARCH OF OSCILLATORY PROCESSES IN RESONANCE MODES IN THE MODEL CONSTRUCTION 193
L.N. Butimova, V.Ya. Modorksy, U.V. Sokolkin DEVELOPMENT THE EXPERIMENTAL EQUIPMENT AND RESEARCH INFLUENCE OF THE MATERIAL PROPERTIES ON THE RESONANT FREQUENCIES IN THE SYSTEM «GAS - CONSTRUCTION» 197
S.N. Butyrsky, O.A. Kovalchuk TECHNOGENIC VIBRATION IMPACT ON HIGH RISE BUILDINGS 201
A.M. Vasilyev, N.A. Oleynikov INFORMATION-MEASURING CONTROL SYSTEM OF UNINTERRUPTED POWER SUPPLIES OF DIFFICULT TECHNICAL OBJECT 204
D.V. Vozhegov, D.A. Strabikin THE PARALLEL METHOD INFERENCE ASSERTIONS PRECEDING CONCLUSION 208
Yu.D. Volkov, P.N. Kochugaiev THE EXPERIMENT'S MODELS IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY 215
D.F. Gainutdinova, A.V. Kozlova, V.Ya. Modorsky, E.V. Mekhanoshina NUMERICAL SIMULATION OF CAVITATION EFFECTS IN THE ACTION OF VIBRATION 219
A.V. Ginzburg, A.A. Skiba APPLICATION OF THE METHOD OF FUZZY LOGIC TO SOLVE PROBLEMS ASSOCIATED WITH THE FORMATION OF TOWN-PLANNING POLICY AND DEVELOPMENT OF TERRITORIAL PLANNING 223
P.A. Gorbokonenko, T.A. Demenkova, V.S. Korzinkin, E.Ph. Pevtsov HARDWARE AND SOFTWARE RESOURCE FOR INCREASE PERFORMANCE FPGA-BASED DSP SYSTEM 226
M.A. Gordeev-Burgwitz, N.A. Michalin, Knut Hartenstein, Heike Kirschke NANO-TECHNOLOGICAL METHODS AND MEANS OF MEASUREMENTS OF THE QUALITATIVE PARAMETERS OF DRINKING WATER IN GERMANY BASED ON THE EXAMPLE OF NORTHERN – RHINE-FESTVALIYA REGION AND MOSCOW 236
M.V. Grushicheva SPEACIAL FEATURES OF GAUGE BLOCKS USE IN CALIBRATION OF MICROPROCESSOR LINEAR SENSORS BASED OF LVDT 239
M.V. Grushicheva DEVELOPMENT OF AN ATTACHMENT POINT FOR MICROPROCESSOR LINEAR SENSOR BASED OF LVDT 243
N.V. Danilina ORGANIZATIONAL FRAMEWORK OF THE «PARK-AND-RIDE» FACILITY PLANNING PROCESS 247
M.A. Dashevskii, V.L. Mondrus, D.K. Sizov, S.N. Shutovskii FEATURES OF THE DEVICE VIBRATION PROTECTION IN EXISTING BUILDINGS FORMER CITY MANOR XVIII-XIX CENTURIES, INCLUDED IN THE COMPLEX OF BUILDINGS OF THE STATE MUSEUM OF A.S. PUSHKINA 251

A.V. Zhdanov CLASSFICATION OF MECHATRONIC UNITS OF SYSTEMS OF AUXILIARY BLOOD CIRCULATION AND ARTIFICIAL HEART 254
A.V. Zhdanov, I.V. Volkova ANALYSIS OF DESIGN DECISIONS OF MECHATRONIC UNITS OF LEFT VENTRICLE ASSIST SYSTEMS 258
V.G. Zhukov, V.V. Bukhtoyarov ALGORITHMS FOR DESIGN NEURAL NETWORKS WITH RADIAL BASIS FUNCTIONS FOR CLASSIFICATION PROBLEMS ANT THEIR APPLICATION TO DETECTING INFORMATION SECURITY INCIDENTS 262
V.A. Zavialov, V.A. Velichkin, R.S. Ulyanov, I.A. Shikolenko OPTIMAL BIOLOGICAL PROCESSES DUE TO APPLICATION ILLUMINATION BASED ON AUTOMATICALLY CONTROLS THE LED 270
V.A. Zavyalov, V.A. Velichkin INDEMNIFICATION OF VIBRATIONS OF MOTION OF AUTOMATIC SYSTEMS BY MEANS OF MICROPROCESSOR DEVICE 274
S.N. Zaytsev DEVELOPMENT OF A METHOD SMALL FLUENCES FOR MONITORING AND EVALUATION OF RADIATION RESISTANCE OF LEDs 278
A.A. Zakharov, A.Y. Tuzhilkin FORMATION OF STRUCTURAL REPRESENTATION OF THREE-DIMENSIONAL SCENES BASED PARSING VIDEO IMAGES 285
S.A. Zinkin, M.E. Fedosin, A.S. Fedosin DEVELOPMENT OF HARDWARE AND SOFTWARE ARCHITECTURE OF A WEB-CENTER USING LOGIC-ALGEBRAIC MODELS OF KNOWLEDGE REPRESENTATION 289
A.N. Ivashkin, P.V. Borkov INVESTIGATION OF DECORATIVE CONCRETE DEPENDING CHEMICAL ADDITIVES AND FILLERS FROM GRANULOMETRY TECHNOGENIC WASTE 294
D.P. Il'yaschenko INVESTIGATION OF INVERTER POWER SOURCE ARC WELDING ON THE PROPERTIES OF WELD JOINTS OF STEEL 1.0503 (DIN, GERMANY) 297
A.O. Kazakova THE NUMERICAL MODELING OF THE ARBITRATY SHAPE THIN PLATE'S BENDING 301
A.I. Kalashnikov, D.V. Moiseev, S.G. Moiseeva THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE SHORT-RANGE PROCEDURE OBSERVATION PLANNING WITHIN THE "RADIOASTRON" MISSION BOUNDS 305
V.V. Karmanov, N.V. Vinokurov, A.N. Volegov DEVELOPMENT OF FRICTION STIR WELDING TECHNOLOGY FOR PLATES OF HEAT RESISTANT ALUMINUM ALLOY 1151AT 3 MM THICK 309
L.L. Kartovitsky, V.M. Levin, A.A. Yakovlev SOME RESULTS OF OPTIMIZATION OF MIXING NONEQUILIBRIUM JETS IN SPATIAL CHANNELS 313
A.I. Kayashev, T.V. Sazonova, V.R. Sabanchin, V.A. Sulikova STABILITY OF MULTIVARIATE CLEAR TEMPERATURE CONTROLLER WITH INTERVAL UNCERTAINTY MANAGEMENT SYSTEM MATERIALS HEAT SETTINGS 316
A.F. Kernozhitskaya, T.V. Germanova ASSESSMENT OF CHEMICAL POLLUTION FROM MOTOR TRANSPORT IN THE TERRITORIES ADJACENT TO HIGHWAYS 323
V.I. Klassen, Yu.E. Sedelnikov Ka BAND ANTENNAS FOR PROMISSING MEANS OF TELECOMMUNICATION. PART 1. PRINTED ANTENNAS 326
V.I. Klassen, Yu.E. Sedelnikov Ku BAND ANTENNAS FOR PROMISSING MEANS OF TELECOMMUNICATION. PART 2. ANTENNAS WITH ENCHANCED FUNCTIONALITY 331
A.K. Klochko, A.R. Klochko, G.R. Arutyunyan THE IMPORTANCE OF ROOMS COOLING PREVENTION DURING THE AUTUMN PERIOD 335
A.K. Klochko, A.R. Klochko, G.R. Arutyunyan CRITERION OF THE CONNECTION SCHEME CHOICE OF SUBSCRIBERS PAIR COUPLE OF TO THE GAS-DISTRIBUTING PIPE LINE 338
G.E. Kokieva STATE OF DEFORMATION OF PARTS OF COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS 341

E.V. Kotelnikov THE STRUCTURE OF THE INTELLIGENT JSM-SYSTEM FOR TEXT SENTIMENT ANALYSIS 344
E.F. Kuznetsova, L.A. Alimov, V.V. Voronin, G.M. Sobolev, M.A. Grigoriev THE OPTIMIZATION AND PREDICTION OF PROPERTIES OF CAST CONCRETE WITH STONE PROCESSING WASTES UTILIZATION 347
P.V. Likin, D.A. Lyahmanov, E.S. Sokolova PACKET FILTERING FUNCTIONALITY IMPLEMENTATION IN SOFTWARE-DEFINED NETWORKS 350
T.V. Maltseva, A.V. Chernykh DEFINITION OF THE VISCOELASTIC MECHANICAL CHARACTERISTIC OF THE SANDY REINFORCED PILE 354
M.V. Martinuk, D.V. Zirin, A.B. Loskutov, A.A. Loskutov ESTIMATING OF THE SHORT-CIRCUIT CURRENTS OF THE UNIFORMLY DISTRIBUTED HEXAGONAL GRID 359
E.V. Mekhanoshina, V.Ya. Modorsky, A.V. Kozlova, D.F. Gainutdinova STUDY OF INFLUENCE VIBRATION AND PRESSURE ON CAVITATION 364
V.Ya. Modorsky, A.F. Shmakov MODELING OF OSCILLATORY PROCESSES IN STRUCTURAL ELEMENTS SRBS 368
V.L. Mondrus, D.K. Sizov FEATURES NUMERICAL PERFORMANCE OF VARITIONAL-DIFFERENCE METHOD IN CALCULATING THE PLATE WITH HOLES 372
P.S. Mochalov, S.N. Kalashnikov MATHEMATICAL MODELING OF TECHNOLOGY PROCESS SIMULATION AND COMPLEXES IN 3D - VIRTUAL ENVIRONMENTS 376
D.A. Muslimov, A.S. Lelyukhin, M.V. Nazarov IMPLEMENTATION OF THE MINIMIZATION DIRECTED DIVERGENCE METHOD FOR RECONSTRUCTION OF X-RAY SPECTRA FROM MEASUREMENTS OF ATTENUATION 380
Y.E. Nemirovich, I.A. Anisimov RATIONALE FOR THE SELECTION OF CROSSWALKS EQUIPMENT 384
M.A. Nikolaev, A.G. Yuferov ALGORITHMS FOR THE ORGANIZATION OF VARIANT DESIGN CALCULATIONS 388
A.A. Orlov, A.V. Astafiev METHOD OF COMBINING THE RESULTS OF LOCALIZATION ALGORITHMS OF DIGITAL CHARACTER LABELS 394
E.V. Ravkovskaya, V.O. Kaledin ASSESSMENT PARAMETERS STRESS-STRAIN STATE FIBER ANISOGRID MESH STRUCTURES 397
M.A. Romashkin DEVELOPMENT OF INFORMATION MODEL PISTON COMPRESSOR EQUIPMENT 402
M.Y. Sartasova MATHEMATICAL MODEL AND ALGORITHM FOR CALCULATING PULSED ELECTROMAGNETIC FIELD 408
V.V. Sevastiyanov MODELLING ASSEMBLY SEALING OF CENTRIFUGAL COMPRESSOR 411
S.A. Semenov USING OF COMPLEX MOLECULAR DYNAMIC TECHNIQUE FOR EFFICIENT IMPLEMENTATION OF HARDWARE GRAPHICAL RESOURCES 415
A.A. Simonenko CONSTRACTING CALIBRATION DEPENDENCE FOR DIFFERENT TYPES OF WOOD USING LOW-FREQUENCY ACOUSTIC METHOD OF FREE OSCILLATIONS 422
E.S. Sokolova, D.V. Dmitriev, A.I. Pashkovsky OPTIMIZATION OF METHODS FOR DIAGNOSING MULTIMODE OBJECTS WITH STATE GRAPHS USING 427
E.S. Sokolova, S.N. Kapranov, T.I. Balashova SEARCH THE COMPLETE SET OF MINIMUM CUTS IN DATA NETWORKS 431
A.M. Stankevich MANUFACTURER'S DOCUMENTATION FOR AIRCRAFT MAINTENANCE AS A BASIS TO SOLVE MAINTENANCE, REPAIR AND OVERHAUL SCHEDULING PROBLEMS 435
V.A. Stolyarchuk THE CONCEPT OF EDUCATIONAL SOFTWARE THE FINITE ELTMENT COMPLEX BASED ON UNIVERSAL SYSTEM OF DATA PROCESSING 438

A.Kh. Tazmeev IMPROVING THE MANAGEMENT SYSTEM OF THE PLASMA GENERATOR WITH LIQUID ELECTRODES 442
A.A. Tashkinov, I.A. Arbuzov, P.V. Pisarev, V.Ya. Modorskiy, R.V. Bulbovich, D.V. Shchenyatskiy, B.E. Kiriyevskiy INFLUENCE OF THE NUMBER OF IMPELLER BLADES ON OSCILLATORY PROCESSES 446
A.A. Tashkinov, I.A. Arbuzov, P.V. Pisarev, V.Ya. Modorskiy, R.V. Bulbovich, D.V. Shchenyatskiy, B.E. Kiriyevskiy NUMERICAL MODELING OF CAVITATION IN THE LABYRINTH SEALS 450
O.P. Timofeeva, M.V. Martinuk, M.A. Stepanenko BICRITERIAL PROBLEM OF THE LEAST-COST ROUTING ILLUSTRATED BY THE TRANSPORT NETWORK OF THE NIZHNY NOVGOROD 454
O.A. Troyanozhko, I.D. Kolesin ANALYSIS OF INFLUENCE OF PROBABILITY DISTRIBUTION TYPE ON ACCURACY OF DIAGNOSTIC FEATURES RANKING 457
P.V. Trusov, N.S. Kondratjev, V.V. Karmanov, A.S. Nurtdinov DEVELOPMENT AND TESTING OF MATHEMATICAL MODELS OF PROCESSES WELDING BY FRICTION STIR OF ALUMINUM ALLOYS 462
T.E. Fazlutdinova, V.N. Kurakina STRESS CONCENTRATION IN LAYERED MEDIA 466
V.G. Fetisov, I.V. Fetisov, I.I. Panina SOME OPEN QUESTIONS OF SYNTHESIS OF SYSTEMS CONTAINING H_λ-OPERATORS 469
P.A. Khavanov, Y.G. Markievich THERMAL CONDITIONS OF USE OF CONDENSING BOILERS IN THE AUTONOMOUS SYSTEMS OF HEAT SUPPLY 474
R.R. Khayrullin, N.N. Safronov SYNTHESIZING STEEL 38H2MYUA SHS DISPERSE WASTE OF ENGINEERING 479
V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, R.N. Golykh, V.A. Nesterov STUDY OF AGGREGATE OF SUBMICRON PARTICLES FORMATION UNDER ULTRASONIC UNFLUENCE 482
A.B. Tsvetkov, L.D. Pavlova MATHEMATICAL MODELING OF STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASS UNDER INFLUENCE OF GRAVITY AND TECTONIC FORCES 485
K.I. Chizhik, A.V. Babin PROBLEMS OF THE MODERN EXTRACTION DEVICES FOR WATER FROM THE AIR 489

ABSTRACTS 492

02.00.13

Б.Н. Иванов д.т.н., В.С. Минкин д.х.н., М.И. Билалов, Р.Н. Костромин к.т.н.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, ivanovbn@rambler.ru

СТРУКТУРА ИННОВАЦИОННОГО НЕФТЯНОГО КЛАСТЕРА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН (Состояние и перспективы). ЧАСТЬ 2.

Нефтяной кластер представляет собой ассоциацию нефтяной инфраструктуры, приемов управления, кадров и применяемых технологий.

Ключевые слова: *инновационный нефтяной кластер, ассоциативность нефтесодержащих систем, волновые воздействия.*

Решение уже перезревшей (см. [1, 2]) задачи прорыва в принципиально новые технологии возможно только на базе осмысления и системного практического воплощения основных форм проявления закона сохранения [3]. Тем более, что происходящие в природе, технике и социуме процессы характеризуются, как нам представляется, стохастичностью и ассоциативностью.

В специальной математической литературе стохастический процесс «приравнивается» к случайному. Более корректно рассматривать стохастический процесс не столько как *вероятностный*, сколько, как *вероятный*, значимость которого может быть различной в зависимости от события [3]. Такая формулировка означает, что те или иные явления обязательно произойдут, но вклад их, в зависимости от природы и условий процесса, будет «случайно-статистическим».

Ассоциативность сложных жидкофазных (химических, физико-химических или физических) процессов предполагает наличие комплексов и конгломератов огромного числа молекул (10^{10}-10^{18}), взаимодействующих ингредиентами своих поверхностных слоев. В этом случае понятие молекул как *индивидуальных самостоятельных структурных единиц теряет смысл*. Ввиду этого невозможно точно воздействовать на вещество, находящееся в постоянном изменении своей структуры, и, следовательно, своих свойств. Нужно пересматривать сущность таких систем, а также пути и способы воздействия на них.

В частности, в нефтесодержащих системах, по нашему мнению, превалирующую роль в различных взаимодействиях оказывают комплексы нестехиометрических соединений, подобных постоянным фрагментам в полимерах, с различной *степенью ассоциативности*.

Таким образом, жидкофазные нефтесодержащие системы следует рассматривать как совокупность ассоциативных структурных единиц, *близкую* к природным полимерным системам. Их нижними границами являются нанокластеры, а верхними – коллоидные частицы.

Вследствие изложенного, большой, если не основной, вклад в различные виды взаимодействия (в том числе и химические) вероятно, вносит поверхностный фактор. На это достаточно ясно указывают результаты проведенных исследований внешних и внутренних надмолекулярных структур методами ядерного магнитного резонанса (здесь не приведены) и тепловизионных измерений (см. рис. 1, 2).

Результаты расчета указывают на существование данных систем в виде совокупности ассоциатов, достаточно условно подразделяемых нами на одно-, двух-, трех- и четырехкратные (более мелкие, «невидимые» тепловизором ассоциаты объединены в пока единую совокупность – нулевую). Их усредненные характеристики проявляются в вязкости, межфазном натяжении, теплоемкости, плотности, температурах фазовых переходов. Влияние внутреннего поверхностного фактора, в первую очередь, проявляется в реологии (включая и полуэзотерический эффект Томса) данных систем. Важнейшими реологическими

характеристиками, как известно, являются внутренняя вязкость и межфазное натяжение, являющиеся генетическими «родственниками». Между ними, как показали несложные математические преобразования [4] существует простая связь:

$$|\sigma| = |\mu| \cdot const\ .$$

Таким образом, коренным фактором, предопределяющим основные реологические свойства природных полимеров и подобных им систем, представляется *ассоциативность* последних и способность к самоорганизации. (Примечание: иногда эту способность нужно подавлять).

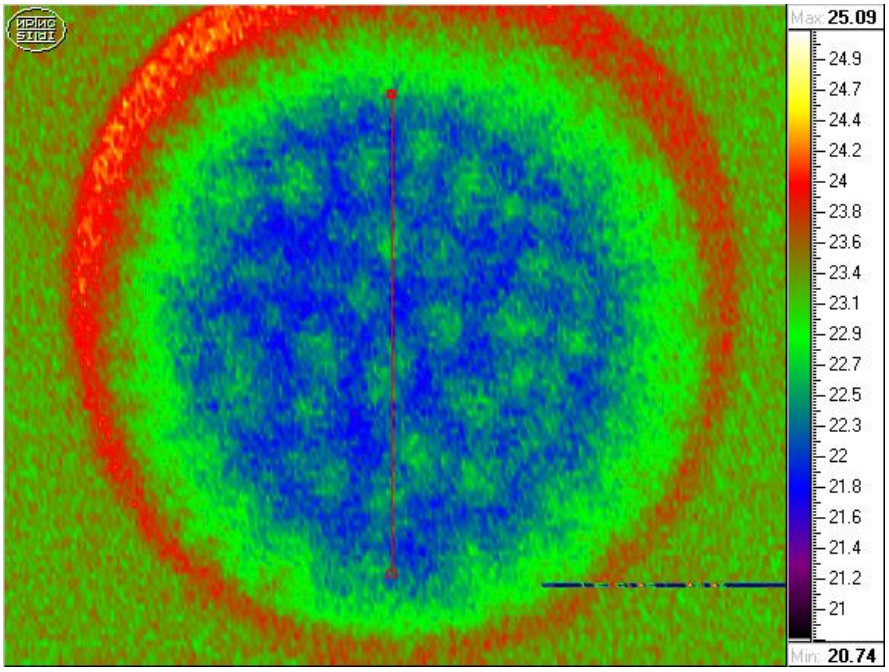


Рис. 1– Тепловизионная съемка образца сырой нефти: хлористой соли – 58076,9 мг/дм^3 (ГОСТ 21534-76), вода – 30,0 % (ГОСТ 2477-65)

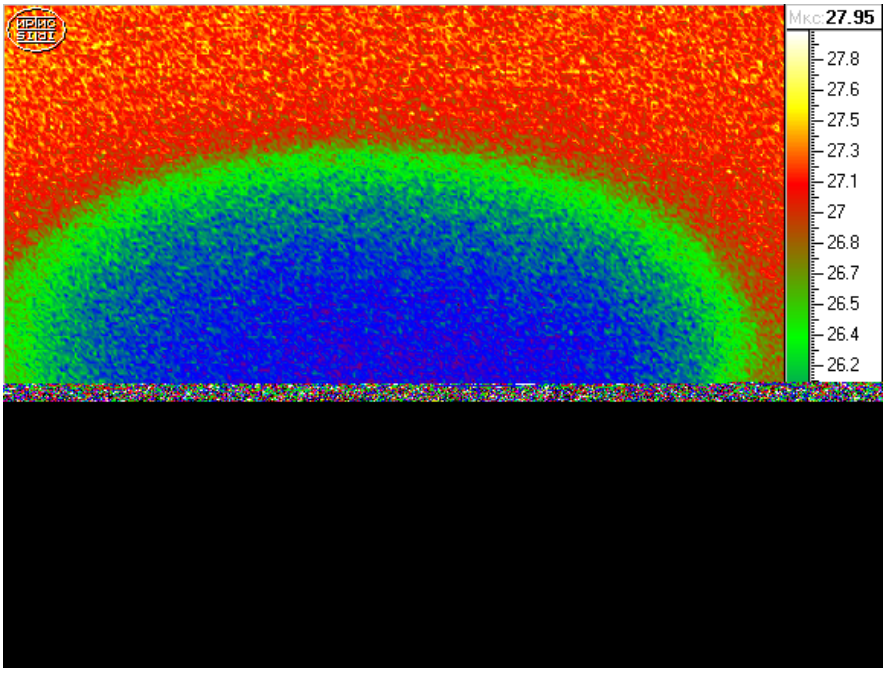


Рис. 2– Тепловизионная съемка образца товарной нефти: хлористой соли – 68,20 мг/дм^3 (ГОСТ 21534-76), вода – 0,03 % (ГОСТ 2477-65)

Исходя из генетического динамического единства нано- и супрамолекулярной структуры материальных образований и, вследствие этого, проявления пространством Вселенной

свойств голограммы, предлагаем разработать комплекс мероприятий по повышению эффективности разведки нефтяных месторождений. [5]

Для чего необходимо определение резонансных частот колебаний нанокластеров и глобул жидкофазных нефтесодержащих систем (в т. ч. нефтяных эмульсий, их органической части, пластовых, буровых и сточных вод (и их смесей) и растворов ПАВ, используемых для стимуляции извлечения и деэмульгирования (или эмульгирования), обезвоживания и обессоливания нефти) и рациональных режимов волновых воздействий.

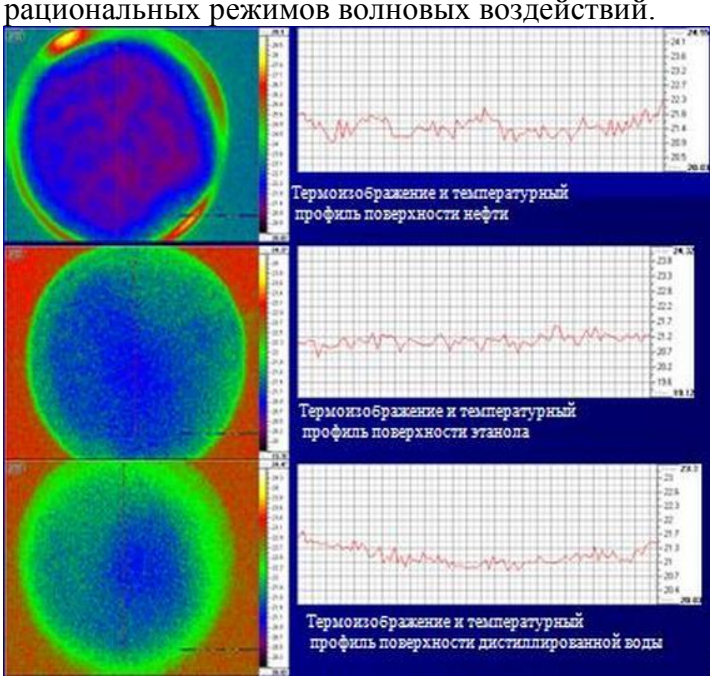


Рис. 3– Термоизображение и температурный профиль поверхностей бензина, этанола и дистиллированной воды

Природа генератора и генерируемых волн должно определяться типом, степенью техногенного влияния и функциональным назначением объекта воздействия. Высокочастотные колебания ведут к образованию систем, подобных моделям Лилла. Последние образуются и при механо-магнитной обработке и ректификации светлых и темных нефтепродуктов. Поскольку в месторождения РТ закачано более 51 млрд. т. различных типов воды и водных растворов ПАВ, то нам представляется целесообразным при добыче нефти в качестве рабочего тела (носителя волн) применять жидкость на базе воды, а генератора – пульсационную гидродинамическую установку.

Еще в 70-е – 80-е годы XX в. заложены научные основы нелинейной волновой механики и технологии, открыты ряд новых волновых и колебательных явлений и эффектов, позволяющих преобразовывать волновые и колебательные движения жидкостей и взвешенных в них включений в монотонные, односторонне направленные движения. Разработанные на этой базе гидромеханические волновые технологии нового поколения в настоящее время объединяют перспективные области техники и инновационных технологий, позволяющие эффективно производить резонансную накачку энергии в обрабатываемые гидромеханические многофазные среды, тем самым многократно, до нескольких десятков, иногда и тысяч раз, (если «включаются» природные катализаторы), интенсифицировать технологические процессы в самых различных отраслях промышленности.

Разработка новых технологий непременно сопровождается подготовкой кадров, без которых создание нефтяного внедренческого кластера не может дать положительных результатов. Цивилизованное развитие наций, тем более научного сообщества, вообще должно определяться следующей схемой: *образование-культура-труд-товар-деньги-товар-труд-культура-образование* [6]. Именно наука и образование – «*архимедов рычаг*» развития человечества, отражающий и оптимизирующий межгосударственные, государственные, региональные, корпоративные и личностные интересы и являющийся основным условием

преодоления глобального кризиса сейчас и устойчивого развития в будущем.

Объективный материальный доход ограничен (иначе должен нарушаться закон Сохранения). Субъективные материальные доходы «растут» за счет их перераспределения и ускорения обращения. Но это ведет к истощению материальных ресурсов и, в конечном счете, к уменьшению и объективного и субъективного доходов. Объективно растут информационный и квалификационный (в т. ч. *интеллектуальный*) ресурсы. Именно они предопределяют способность создания и степень эффективности созданных технологий и производств по добыче и использованию материальных ресурсов.

Основная идея, на которой должен образовываться и развиваться тот или иной научно-промышленный кластер, – это *резонансные технологии* [1]. Причем их нужно понимать, как в прямом, так и в переносном смысле. То есть, в глобальном значении – это использование побочных явлений для осуществления целевых процессов; в более конкретном – определение *резонансных частот* колебаний ключевых компонентов, их взаимодействий и разработка на этой основе соответствующих рациональных технологий. Особенно такой подход целесообразен для сложных систем. Причем, чем сложнее, тем целесообразнее. Фундаментом всех резонансных технологий являются *дифференциация и интеграция* явлений в природных и техногенных системах, взаимосвязь которых целесообразно определять посредством сопряженного физико-математического моделирования с учетом их вещественно-волновой природы. Сопряженность (то есть базирование на одних и тех же основных формах проявления закона сохранения) физического и математического моделирования способствует развитию рациональных технологий во всей нефтяной инфраструктуре. Реализация вышеизложенного, по сути, и является воплощением системного подхода.

Системный подход способствует повышению эффективности всех процессов от добычи до переработки как традиционных, так и тяжёлых нефтей и природных битумов за счет внедрения:

– комплексных технологий воздействия на пласт с применением мицеллярных, эмульсионных и парофазных каталитических систем с целью генерации «синтетической» нефти;

– интенсивных технологий для нагнетательных и добывающих скважин на основе самоотклоняющейся кислотной композиции с применением цвиттер-ионных ПАВ;

– технологий по стимуляции работы добывающих скважин за счет удаления АСПО из призабойной зоны и нефтепромыслового оборудования;

– оптимизации процессов подготовки, транспорта тяжёлых нефтей и природных битумов с использованием физико-химических методов;

– модульных и пилотных установок для реализации технологий повышения нефтеотдачи пласта и интенсификации и стимуляции работы скважин.

Применение новых технологий позволит повысить нефтеотдачу в среднем на 1-1,5 тыс. т на 1 скважино-обработку, снизить объёмы попутно добываемой воды на 10-20 %. Совокупное увеличение дополнительной добычи нефти за счет внедрения новых технологий не менее 300 тыс. тонн (что соответствует > 6 млрд. рублей валовой выручки). Кроме того, комплексно решается проблема транспорта, дальнейшей подготовки нефти и природных битумов, а также улучшения их качественных характеристик.

Реализацию новых технологий в России могут осуществлять крупнейшие нефтедобывающие компании ОАО «Лукойл», «Роснефть», «ТНК-ВР», «Сибнефть», «Башнефть», «Татнефть», а также консорциумы малых нефтяных компаний.

Решение вышеизложенных задач невозможно без создания соответствующих энергетических установок и аппаратов, основанных на гравитационных, электромагнитной, акустической и гидродинамической генерации волн для:

а) добычи и трубопроводного транспорта нефтей с неньютоновской реологией в различных температурных и сдвиговых условиях;

б) переработки тяжелых нефтей (ТН) и природных битумов (ПБ) в «синтетическую»

нефть для дополнительного получения качественных моторных топлив, масел, битумов, кокса, выделения редкоземельных металлов.

Технология «интенсивного испарения» в этой связи позволяет обеспечить 5-7 кратное снижение содержания сероводорода в нефти с остаточным содержанием - 50 ppm и ниже. Эффективно внедряется в практику мобильная технология прогнозирования и оценки залежей углеводородов, основанная на низкочастотном сейсмическом зондировании. На Повховском и Тевлинско-Русскинском месторождениях (ТПП «Когалымнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь») применяется единая геолого-генетическая модель длительно эксплуатируемых углеводородных залежей на базе геолого-геофизических данных, фациального анализа и седиментационной цикличности. Положено начало *системному изучению* наноявлений (от наноминералогии и нанохимии к нанотехнологиям) при разработке месторождений углеводородов. Использование подобного инновационного проектирования в условиях Татарстана открывает возможность удвоения потенциала малых нефтяных компаний.

По сути, решение проблемы повышения нефтеотдачи является обязанностью государства. Поэтому во многих странах создаются специальные государственные программы по воспроизводству сырьевой базы нефтедобычи за счет увеличения нефтеотдачи. Такие программы успешно реализуются в США, Канаде, Норвегии, Китае.

Без активного содействия государственных органов невозможны также:

– разработка технологии плазменной модификации катализаторов применяемых в процессах глубокой переработки нефти и нефтепродуктов с высокими селективностью и выходом;

– модифицирование остаточных, окисленных и регенерирование вторично используемых битумов («выжитых» битумов);

– использование металлизированных каталитических комплексов для интенсификации процессов термолиза тяжелого нефтяного сырья, в том числе в самом нефтяном пласте.

Подытоживая вышеизложенное, целесообразно отметить, что *стратегическими направлениями* развития инновационного нефтяного кластера РТ являются:

1. Воспроизводство сырьевой базы тяжелой нефти и природных битумов Республики Татарстан;
2. Рентабельные переработка и реализация тяжелых нефтей;
3. Фундаментально-прикладные исследования, включая сопряженное качественно-количественное физико-математическое моделирование.

Первоочередными задачами последнего являются: математическое, физическое моделирование и компьютерные эксперименты по изучению особенностей геологического строения, распределения запасов и процессов массо-теплопереноса в системе «пласт – скважина – промысловое оборудование»; описание термогидродинамики данной системы; изучение состава и структуры флюидоупоров месторождений высоковязких нефтей и природных битумов; исследование надмолекулярной ассоциативной структуры нанокластеров и глобул жидкофазных нефтесодержащих систем, определение их резонансных частот колебаний и рациональных режимов волновых воздействий.

4. Отказ от применения высокочастотного электромагнитного воздействии для обработки нефтеносного пласта (ввиду нецелесообразности);
5. Повышение технологичности извлечения битумной нефти посредством первоначальной (в течение нескольких лет) обработки пластов острым паром, содержащим каталитические ингредиенты, возбуждающих ионы металлов в породах коллектора, в сопутствующей воде и металлорганических комплексах нефти и иефтебитумов;
6. Разрушение особо прочных нефтяных эмульсий с применением импульсного разрежения;
7. Отработка рациональных режимов высокочастотного электромагнитного воздействия для упрочнения (в случае целесообразности) нефтеводных эмульсий;
8. Применение карбоновых нефтей в производстве дорожных битумов с упрощением

стадии обессоливания и исключением стадии окисления (допустимая степень обводненности одновременно получаемых котельно-печных топлив, по нашим расчетам, 25-28 % масс.);

9. Использование в производстве строительных и дорожных материалов образующихся при нефтедобычи АСПО (асфальтенов – 11-20 %, парафино-нафтеновые углеводородов – 60-75 %) и нефтешламов.

10. Получение высокооктановых (ОЧ более 110) фазовоустойчивых автомобильных топлив на базе оксигенатов и нефтяных бензиновых фракций;

11. Создание в рамках агропромышленного комплекса опережающего развития Республики Татарстан био-алко-нефтехимического комбината, использующего волновые технологии;

12. Использование при решении задач инновационного внедренческого нефтяного кластера *научно-образовательного центра* подготовки и переподготовки кадров «Волновые процессы и технологии» (при КНИТУ и ОАО «Татнефтехиминвест-холдинг»).

Ожидаемый прирост материальной и интеллектуальной продукции в денежном эквиваленте может составить ~ 10 млрд. рублей.

ВЫВОД

Резюмируя I-ю (см. [2]) и II-ю части статьи «Структура инновационного нефтяного кластера Республики Татарстан (состояние и перспективы)», необходимо подчеркнуть справедливость давно сформулированной идеи, которая несколько перефразированная звучит следующим образом: генератором создания, качества и перспектив функционирования структуры кластера являются кадры, овладевшие *прогрессивной* методологией познания и способные на этой основе творчески подходить к разработке инновационных технологий и реализующей их технике.

Список литературы

1. *Иванов Б.Н., Минкин В.С.* Современные аспекты прорывных резонансных технологий // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань, 2011. – № 1. – С. 9-14.

2. *Древницкая Е.Л., Иванов Б.Н., Минкин В.С.* Структура инновационного нефтяного кластера Республики Татарстан (состояние и перспективы). Часть 1 // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань, 2012. – № 3. – С. 7-12.

3. *Иванов Б.Н.* Онтология теоретических основ химической технологии / учебное пособие. Казань: КГТУ, 2006. – 72 с.

4. *Иванов Б.Н.* К вопросу о характеристиках ассоциативности сложных жидкофазных органических систем и их математическом отображении. Часть II / Б.Н. Иванов, А.В. Дацков, М.И. Билалов, Р.Н. Костромин // Вестник Казанского технологического университета. Казань: Отечество, 2007. - № 3-4.-С. 161-171.

5. *Иванов Б.Н.* Волновые процессы и технологии добычи и подготовки нефти / Б.Н. Иванов, А.И. Гурьянов, А.М. Гумеров. – АН РТ, Казань: ФЭН, 2009. – 400 с.

6. *Валеев Р.М., Иванов Б.Н.* О концепции непрерывного образования в Республике Татарстан // Служебная лестница. – Казань. – 2002. – № 1. – С. 18-21.

УДК 541.123.3

В.К. Половняк, Ш.В. Садетдинов, С.В. Житарь

РАСТВОРИМОСТЬ И ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ СИСТЕМ $MeBO_2 – MeNO_2 – (Me-Li, Na, K) – H_2O$ ПРИ 25°С

Исследование в области химии кислородных соединений бора актуальны, поскольку применение боросодержащих соединений в сельском хозяйстве, промышленности и в ряде других отраслей народного хозяйства вызывает необходимость вовлечения в сферу производства новых высокоэффективных боросодержащих комплексов [1].

Боратные системы представляют собой научную основу синтеза боросодержащих соединений и боратных композиций [2,3].

Бораты и нитриты лития, натрия, калия применяются в промышленности в качестве ингибиторов коррозии металлов в нейтральных средах. Ингибиторный эффект присадок значительно возрастает если их использовать комплексно в оптимальных соотношениях [4].

С целью получения сложных боратно – нитритных композиций нами изучены растворимость, плотность, вязкость и показатель преломления в системах $LiBO_2 – LiNO_2 — H_2O$, $NaBO_2 – NaNO_2 — H_2O$ и $KBO_2 – KNO_2 — H_2O$ при 25°С.

В качестве исходных веществ использовали бораты и нитриты лития, натрия, калия марки «х.ч.». В жидких и твердых фазах содержание борат – ионов определяли алкалиметрическим титрованием в присутствии маннита [5]. Нитрит – ионы определяли перманганатометрией. Твердые фазы идентифицировали методом «остатков» Стрейнемакерса [6]. Плотность измеряли пикнометрическим методом в пикнометрах на 5,0 мл. Измерение вязкости производили вискозиметром Оствальда, с диаметром капилляра в 1,04 мм. Показатель преломления насыщенных растворов определяли на рефрактометре ИРФ – 454 Б. Равновесие в системах при непрерывном перемешивании устанавливалось через 6-8 часов.

Результаты исследования растворимости в системах $LiBO_2 – LiNO_2 — H_2O$, $NaBO_2 – NaNO_2 — H_2O$ и $KBO_2 – KNO_2 — H_2O$ при 25°С (таблица, рисунки 1-3) показывают, что данные системы эвтонического тапа без образования химических соединений.

Диаграммы растворимости все трех указанных систем характеризуются наличием двух ветвей кристаллизации.

Первая большая ветвь соответствует насыщенным растворам, из которых в донный осадок выпадают моноборaты лития, натрия и калия. Следует отметить, что в системе моноборат лития – нитрит лития – вода накопление в растворе нитрита лития вызывает частичное обезвоживание октагидрата монобората лития и переход его в дегидратную форму.

Вторая ветвь значительно меньше первой и отвечает кристаллизации из растворов азотистокислых солей лития, натрия и калия.

По экспериментальным данным выведены эмперические формулы, позволяющие описать ветвь кристаллизации $LiBO_2$, $NaBO_2$, KBO_2 в присутствии нитритов уравнениями:

$y_1 = -0{,}0531x_1 + 3{,}02;$

$y_2 = -0{,}028x_2^2 + 1{,}32x_2 + 2{,}95;$

$y_3 = 0{,}0033x_3^2 – 0{,}46x_3 + 17{,}77,$

где x_1, x_2, x_3 – масс.% нитрита лития, натрия и калия;

y_1, y_2, y_3 – масс.% монобората лития, натрия и калия соответственно.

С увеличением содержания нитритов в системах происходит значительное уменьшение растворимости борнокислых солей. Эвтонические растворы имеют состав: 0,72% $LiBO_2$ и 52, 08% $LiNO_2$; 12, 78% $NaBO_2$ и 43,53% $NaNO_2$; 2,04% KBO_2 и 75,12% KNO_2.

Коэффициенты высаливания, вычисленные по кривой растворимости и количественно характеризующиеся как отношение дифференциальных изменений моляльных концентраций $\Delta c\ MeBO_2 / \Delta c\ MeNO_2$ показывают, что они уменьшаются с увеличением содержания нитритов в растворе. Их значения тем больше, чем выше растворимость высаливаемого

компонента, и во всех системах при приближении к эвтонической точке они достигают постоянной величины.

Изотермы плотности, вязкости, показателя преломления жидких фаз и суммы молей солей на 1000 молей воды, подтверждают простой эвтонический тип систем. Они также включают две ветви насыщения, отвечающие свойствам насыщенных растворов исходных солей.

Таблица. Растворимость и свойства жидких фаз в системах $MeBO_2 – MeNO_2 – (Me\text{-}Li, Na, K) – H_2O$ при 25°С.

Жидкая фаза масс.%		∑	$d \cdot 10^{-3}$, кг·м$^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$, н·сек/м^2	n	Твердый остаток, масс.%		Твердая фаза
$MeBO_2$	$MeNO_2$					$MeBO_2$	$MeNO_2$	
$LiBO_2 – LiNO_2 — H_2O$								
3,04	-	11,32	1,043	0,985	1,344	25,70	-	$LiBO_2 \cdot 8H_2O$
2,06	10,62	49,89	1,181	2,759	1,352	25,02	0,26	$LiBO_2 \cdot 8H_2O$
1,18	20,88	96,54	1,314	4,472	1,366	24,65	0,49	$LiBO_2 \cdot 8H_2O$
0,86	31,52	162,89	1,453	5,186	1,380	54,98	1,90	$LiBO_2 \cdot 2H_2O$
0,78	43,38	269,18	1,607	8,227	1,391	53,60	1,98	$LiBO_2 \cdot 2H_2O$
0,74	51,90	378,18	1,716	9,652	1,403	53,08	2,14	$LiBO_2 \cdot 2H_2O$
0,72	52,08	380,62	1,717	9,680	1,404	36,18	26,47	$LiBO_2 \cdot 2H_2O + LiNO_2 \cdot H_2O$
0,72	52,09	380,63	1,718	9,678	1,404	5,30	65,52	$LiBO_2 \cdot 2H_2O + LiNO_2 \cdot H_2O$
0,73	51,98	380,60	1,716	9,670	1,404	0,40	74,08	$LiNO_2 \cdot H_2O$
-	52,42	374,57	1,720	9,760	1,403	-	74,63	$LiNO_2 \cdot H_2O$
$NaBO_2 – NaNO_2 — H_2O$								
21,99	-	90,91	1,246	4,058	1,387	47,63	-	$NaBO_2 \cdot 4H_2O$
18,03	11,92	114,85	1,464	4,510	1,391	45,70	0,86	$NaBO_2 \cdot 4H_2O$
14,68	26,36	184,67	1,768	5,058	1,399	45,20	2,02	$NaBO_2 \cdot 4H_2O$
12,80	40,50	264,39	2,112	5,710	1,406	44,08	4,06	$NaBO_2 \cdot 4H_2O$
12,78	40,53	264,39	2,110	5,711	1,406	28,34	33,38	$NaBO_2 \cdot 4H_2O + NaNO_2$
12,78	40,52	264,39	2,108	5,710	1,406	12,52	71,06	$NaBO_2 \cdot 4H_2O + NaNO_2$
12,76	40,51	264,39	2,106	5,712	1,406	0,98	98,60	$NaNO_2$
5,96	42,50	246,94	2,156	5,787	1,405	0,46	98,72	$NaNO_2$
-	46.09	221,04	2,172	5,831	1,403	-	100	$NaNO_2$
$KBO_2 – KNO_2 — H_2O$								
18,42	-	49,65	1,121	1,420	1,356	100	-	KBO_2
12,96	10,60	66,64	1,227	2,078	1,359	98,86	0,46	KBO_2
9,70	21,84	98,61	1,339	2,775	1,370	97,18	1,08	KBO_2
6,08	31,06	125,72	1,432	3,347	1,378	97,06	1,96	KBO_2
4,19	42,12	139,46	1,542	4,032	1,384	96,90	2,02	KBO_2
2,86	56,14	305,09	1,682	4,903	1,392	96,72	2,16	KBO_2
2,40	66,50	468,75	1,786	5,542	1,406	96,60	2,28	KBO_2
2,04	75,10	715,52	1,870	6,078	1,420	44,02	50,14	$KBO_2 + KNO_2$
2,04	75,12	715,52	1,872	6,078	1,420	96.52	2,36	$KBO_2 + KNO_2$
2,03	75,12	715,52	1,872	6,076	1,420	97,40	2,44	KNO_2
-	75,83	663,44	1,914	6,128	1,418	-	100	KNO_2

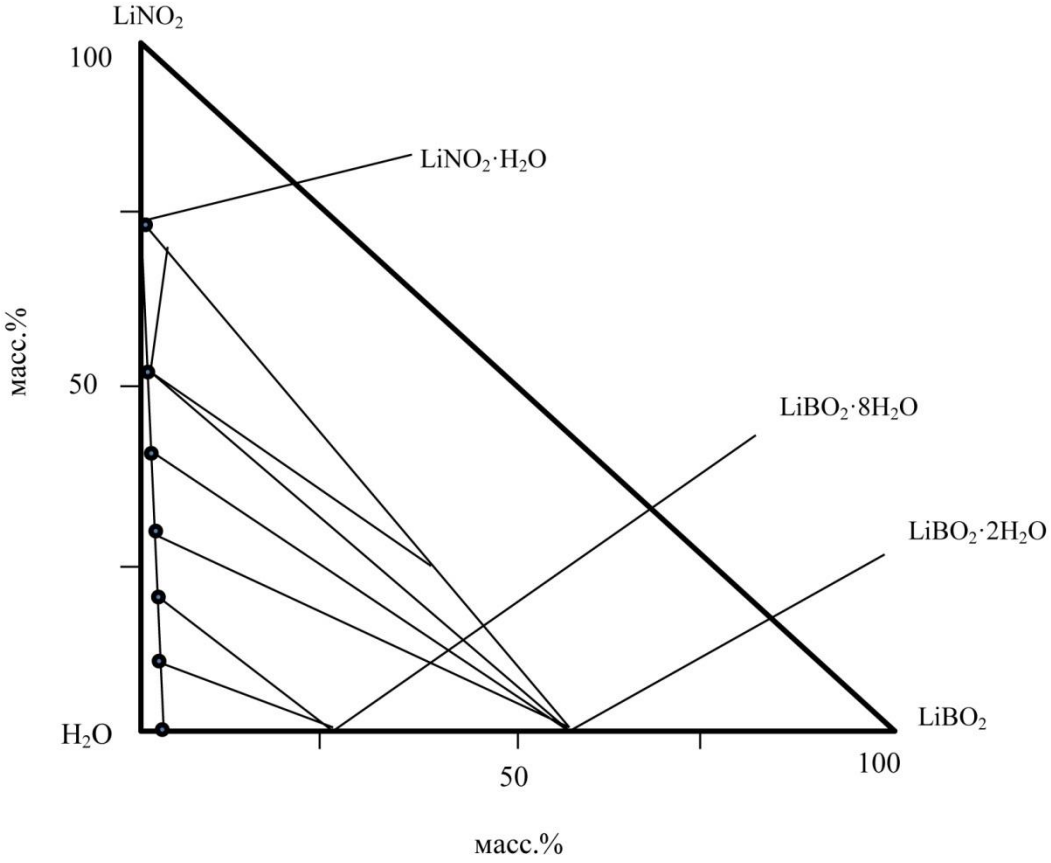


Рис.1. Изотерма растворимости в системе моноборат лития – нитрит лития – вода при 25°С.

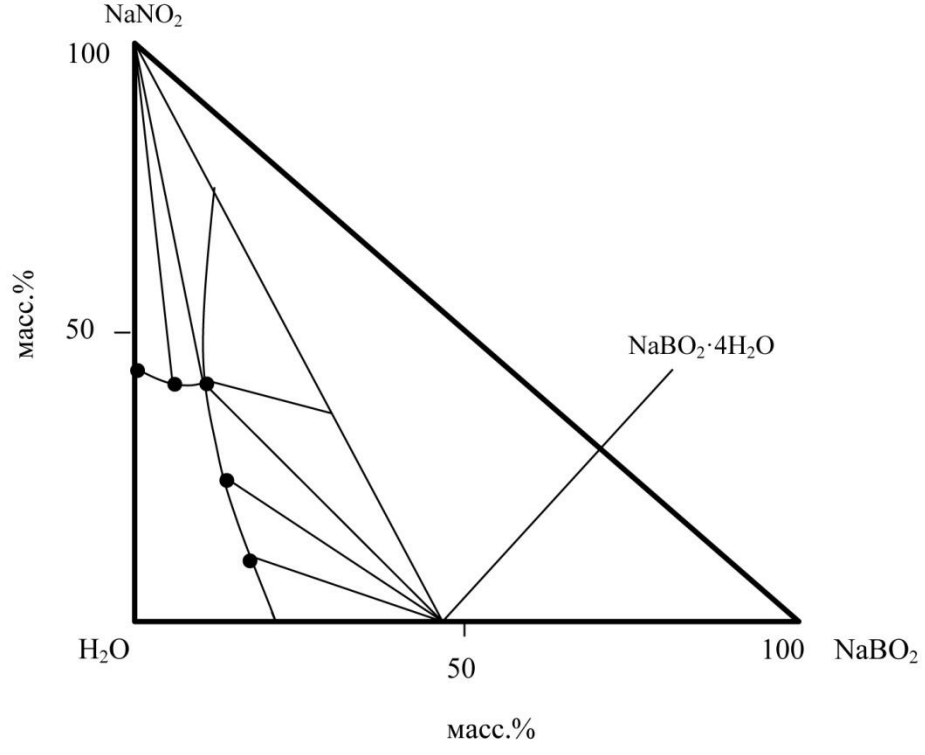


Рис. 2. Изотерма растворимости в системе моноборат натрия – нитрит натрия – вода при 25°С.

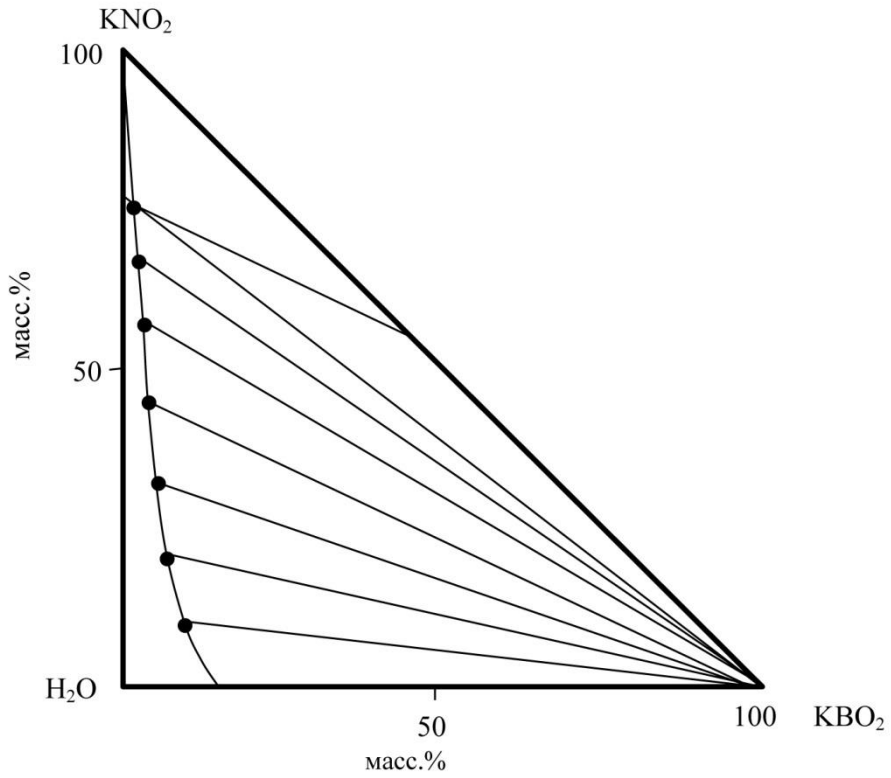


Рис. 3. Изотерма растворимости в системе моноборат калия – нитрит калия – вода при 25°С.

Список литературы

1. *Шварц Е.М.* Взаимодействие борной кислоты со спиртами и оксикислотами. / Е.М. Шварц. // Рига.: Зинатне, - 1990. - 414 с.
2. *Садетдинов Ш.В.* Трехкомпонентные боратосодержащие системы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук. / Ш.В. Садетдинов. // Казань, - 1999. – 40 с.
3. *Половняк В.К.* Растворимость и твердые фазы в системе дицинкгексаборат – карбамид – вода. / В.К. Половняк, Ш.В. Садетдинов, А.И. Катанаев, Р.С. Миргазитова. // Научно – технический вестник Поволжья. - Казань: Научно – технический вестник Поволжья. -2012. - №4. – с 9.
4. *Ткачев К.В.* Технология неорганических соединений бора. / К.В. Ткачев, Ю.С. Плышевский. //Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1983. - 208с.
5. *Шарло Г.* Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений. / Г. Шарло // М.: Химия, - 1965. – 976с.
6. *Аносов В.Я.* Основы физико-химического анализа. / В.Я. Аносов, М.И. Озерова, Ю.Я. Фиалков // М.: Наука, - 1978. – 504с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.04.11

В.Л. Кашинцева, М.И. Панфилова

Московский государственный строительный университет,
кафедра физики,
Москва, kashintseva_v@mail.ru

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ АМОРФНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК

В данной работе рассматриваются способы получения аморфных пленок. Интерес к таким объектам связан с возможностью изучения фундаментальных проблем физики магнитных явлений. Исследовались свойства анизотропии. Определены значения угловой дисперсии анизотропии в аморфных пленках.

Ключевые слова: *магнитная пленка, аморфные пленки, коэрцитивная сила, анизотропия, магнитооптический сигнал, константа анизотропии.*

Известны следующие методы получения тонких пленок – термическое испарение материала пленки в вакууме на подложку, катодное распыление, ионно-плазменное распыление, электролитическое осаждение, магнетронное распыление и др.

Аморфные ферромагнетики представляют определенный интерес в качестве объектов для изучения природы магнетизма, источников магнитной анизотропии и процессов импульсного перемагничивания в структуронеупорядоченных материалах. Особый научный и практический интерес представляют аморфные пленки тройных и более сложных сплавов, поскольку возможность варьирования их составом в широких пределах позволяет целенаправленно влиять на такие важные характеристики , как намагниченность насыщения, температуру Кюри, магнитную проницаемость, коэрцитивную силу и тем самым определять влияние химического состава пленок, композиционного и топологического упорядочения на вышеперечисленные физические свойства [1].

Существующие способы получения аморфных магнитных пленок на стеклянных подложках включают в себя стадии химической очистки, сенсибилизации, активации и осаждения из растворов с использованием в качестве восстановителя гипофосфата натрия. Для повышения качества пленок используются различные виды предварительной химической и термической обработки стекла подложки, различные составы растворов с добавлением солей органических кислот. Рассмотрим некоторые из них.

Способ получения аморфных магнитных пленок Co-P на полированные стеклянные подложки, включающий очистку подложки, двойную сенсибилизацию в растворе хлористого олова, с промежуточной обработкой раствором перекиси водорода, активацию в растворе хлористого палладия, термообработку при температуре 150-450^{o}C в течение 30-40 мин, Осаждение аморфной тонкой пленки состава Co-P на немагнитный аморфный подслой Ni-P толщиной 20-30 нм при наложении в плоскости пленки однородного магнитного поля [1]. Однако данный способ не обеспечивает получения аморфных анизотропных пленок достаточно высокого качества по коэрцитивной силе.

Другой способ получения аморфных магнитных пленок отличается от описанного выше тем, что на аморфную магнитную пленку Co-P дополнительно осаждают немагнитный аморфный слой Ni-P толщиной 2,0 – 6,0 нм с последующим осаждением идентичной Co-P пленки. Необходимость осаждения промежуточного слоя Ni-P связана с тем, что при этом осуществляется стабилизация коэрцитивной силы с минимальной величиной.

Для определения зависимости коэрцитивной силы от толщины промежуточного немагнитного слоя d_3 , были изготовлены 11 образцов, у которых эта величина менялась от 0 до 36 нм. При этом толщины магнитных Co-P пленок d_2 , d_4 и буферного подслоя d_1 Ni-P оставались неизменными и составляли соответственно 35 ,35 и 30 нм. Это делалось для объективности сравнительной оценки результатов измерений коэрцитивной силы. Толщина слоев определялась по времени осаждения при известной скорости осаждения контрольных образцов Ni-P и Co-P слоев. Для этого использовались данные рентгеноспектральных измерений на приборе S4 PIONER. Измерения коэрцитивной силы проводились на петлескопе, принцип работы которого основан на индукционном возбуждении сигнала с рабочей частотой 50 Гц. Было установлено, что предлагаемый способ получения аморфных пленок позволяет существенно, более чем на порядок, уменьшить величину коэрцитивной силы и, следовательно, улучшить качество аморфных Co-P пленок по сравнению с пленками, полученными по способу [1], а также может быть успешно использован при получении аморфных магнитных пленок Co-P не только на стеклянные подложки , но и на подложки из других материалов, таких как поликор, ситалл или кварц.

Также исследовались аморфные пленки состава Fe Co Si B , изготовленные ионно-плазменным осаждением в атмосфере аргона при давлении 10^{-3}мм.рт.ст. на стеклянные подложки. Для повышения пространственной однородности, пленки в течение 3 часов отжигались в вакууме при постоянном магнитном поле напряженностью 200Э при температуре 200^{o}C. Аморфность полученных пленок проверялась по рентгенограммам [4].

Одним из факторов, определяющих поведение намагниченности в импульсных магнитных полях является наличие у них анизотропии. Характеристики анизотропии следующие - эффективное поле анизотропии $H_к$, угловая и амплитудная дисперсия. Сопоставление импульсных свойств магнетиков со свойствами анизотропии представляет значительный интерес.

Свойства анизотропии исследовались на установке, описанной Штайном в работе [5]. Для измерения эффективного поля анизотропии исследовалась зависимость поперечной составляющей намагниченности $M_п$ аморфных пленок от напряженности постоянного поперечного магнитного поля $H_п$. При этом для измерения $M_п$ использовался поперечный съемный виток, регистрирующий изменение суммарного магнитного потока пленки при перемагничивании под действием импульсного магнитного поля, прикладываемого вдоль оси легкого намагничивания (ОЛН).

С помощью магнитооптического сигнала изучалась зависимость продольной составляющей намагниченности $M_{пр}$ от поперечного поля $H_п$. Как было показано в работе [3,2], для пленок с одноосной анизотропией и наиболее характерной зависимостью энергии анизотропии E_a от ориентации намагниченности $E_a=K\sin^2\theta$, относительная величина продольной составляющей намагниченности будет определяться выражением:

$$n=M_{пр}/M_s=\cos\theta=(1-h_п^2)^{1\backslash 2},$$

где θ - угол между вектором намагниченности и ОЛН, К – константа анизотропии, $h_п=H_п/H_к$ и $H_к=2K/M_s$.

Относительная величина продольной составляющей намагниченности n определялась по напряжению сигнала А с фотодиода. Измерения состоят в построении и последующем анализе зависимости относительной величины магнитооптического сигнала $a=A/A_п$ от напряжения поперечного поля.

Опыт показывает, что после выключения поля, насыщающего пленку вдоль ОЛН, первые домены возникают на краях образцов. Затем они прорастают во внутренние области аморфной пленки, отстоящие от края на 0,5-3 мм, за время 0,1–1,0 мкс.

Измерение $H_к$ производились следующим образом. На пленку вдоль ОЛН подавались импульсы магнитного поля с напряженностью $H_п \geq H_к$ Наблюдались полосовые домены, образующиеся через 20 – 50 нс после окончания импульса. Прикладывалось постоянное магнитное поле H, параллельное $H_п$. За величину $H_к$ принималось значение поля H, при котором исчезала полосовая доменная структура. Значения угловой дисперсии анизотропии

в аморфных пленках оценивалось по величине угла, на который надо повернуть пленку от среднего направления ОЛН, чтобы исчезли полосовые домены.

Список литературы

1.*Кипарисов С.Я., Беляев Б.А* В Способ получения аморфных магнитных пленок Co-P.// Патент России №2306367,2007. Бюл. №26.
2.*Праттон М.* Тонкие ферромагнитные пленки.- М.: «Судостроение».-1967.-368 С.
3.*Суху Р.* Магнитные тонкие пленки.- М: «МИР».-1967.-464С
4.*Janot Chr*. Les amorphes metalliques et leur proprietes magnetiques.//Revue Phys. Applepple. -1968.-№12.-P.635-647.
5.*Stein K.U.*, Koharente und inkoharente Drehung bel der Impulsammugnetisierung diunner Nickeleisenscicht.// Z.Angew.Phys.-1965.-B.20. H.1.-S.36-46.

01.02.04

[1]А.А. Корниенко, [2]А.А. Мусеев, [3]А.Н. Токарев, [2]А.А. Лежнева к.ф-м.н.
[1]ОАО «Оргэнергогаз», Москва
[2]Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
факультет прикладной математики и механики,
кафедра динамики и прочности машин,
Пермь, a.a.museev@gmail.com, dpm@pstu.ru
[3]ЗАО «Газкомпозит», Пермь

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ВСТАВОК»

В статье описана конструкция измерительного элемента «интеллектуальной вставки». Приведен один из экспериментов по тарировке катушки измерительной, проанализированы результаты. Обозначена проблемная область и перспектива дальнейших исследований.

Ключевые слова: *диагностика, «интеллектуальная вставка», катушка измерительная, эксперимент, напряженно-деформированное состояние.*

Современные требования в части промышленной и экологической безопасности указывают на необходимость усовершенствования существующих методов оценки эксплуатационной надежности трубопроводного транспорта и разработки новых концепций в области диагностики магистральных трубопроводов.

Одной из важных задач является задача оценки технического состояния трубопроводов, расположенных на участках активной геодинамики (оползневые, карстообразные участки и т.д.). Данные участки называют потенциально опасными (ПОУ). На таких участках возникает проблема достоверной оценки технического состояния трубопроводов с целью изменения режимов эксплуатации при возникновении аварийных ситуаций, оптимизации регламента их технического обслуживания и оценки надежности.

Согласно нормативной документации один из критериев надежности трубопроводов оценивают по параметрам их напряженно-деформированного состояния (НДС) [6].

Существуют различные неразрушающие методы контроля и оценки этих параметров. К ним можно отнести натурные наблюдения и геодезические съемки пространственного положения трубопровода с последующей аналитической оценкой параметров НДС [2], натурные методы тензометрирования [10]. И те и другие имеют ряд недостатков, связанных, в первую очередь, с длительностью экспертизы ввиду необходимости проведения работ в полевых условиях.

С целью повышения точности измерения деформированного состояния трубопровода, дальнейшей корректной оценки НДС и оценки надежности магистрального трубопровода в целом ОАО «Оргэнергогаз» в начале 2000-х годов разработал и организовал производство нового изделия – «интеллектуальной вставки». Данное изделие предназначено для непрерывного или периодического контроля ряда технических параметров: НДС и температуры металла стенки трубопровода, величины постоянного тока в трубопроводе от станции катодной защиты и величины электрохимического потенциала [9].

«Интеллектуальная вставка» представляет собой средство диагностики, включающее в себя измерительный элемент – катушку измерительную (КИ), комплект вторичных преобразователей сигнала, контрольно-измерительный пункт. Функционально такая система дает возможность проведения измерений, накопления, обработки и передачи данных по любым существующим каналам связи.

КИ представляет собой отрезок трубы, соответствующий параметрам контролируемого трубопровода. С переносом работ (по установке датчиков) из полевых условий в заводские появилась возможность установки качественной защиты датчиков, возможность решения

проблемы «нулевого НДС». Такой радикальный подход значительно повышает эффективность метода тензометрирования применительно к оценке НДС трубопровода.

В качестве измерительного элемента катушка с установленными на ней датчиками, соосно вваривается в действующий трубопровод, становясь, по сути, средством измерения параметров его деформированного состояния (рис.1). Датчики соединяются кабелем с регистрирующей аппаратурой.

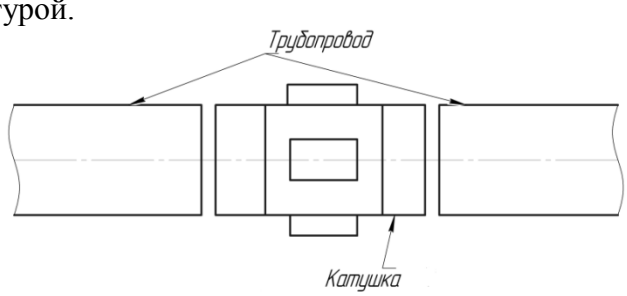


Рис. 1 - Схема установки КИ в трубопровод

При создании КИ необходимо было решить вопросы:

- рационального выбора геометрии катушки;
- выбора конструкции защитного кожуха, исключающего его влияние на напряженное состояние катушки, но при этом обеспечивающего механическую защиту и герметизацию датчиков и их соединений с кабелем;
- выбора варианта схематизации (математической модели) трубопровода из условий адекватности отражения его напряженного состояния и минимизации аппаратных средств и простоты алгоритмов обработки;
- выбора типа датчиков, их количества и схемы установки, обеспечивающей работоспособность КИ в случае их частичного выхода из строя, а также их калибровку, снижающую погрешность измерений.

Разработка методики калибровки датчиков деформаций включала в себя выбор условий нагружения КИ, необходимых и достаточных для получения полезной информации; выбор оборудования для нагружения КИ в заводских условиях регламентированной нагрузкой; выбор средств измерения нагрузки; разработку алгоритма анализа экспериментальных данных, обеспечивающего дальнейшую калибровку датчиков.

Конструктивные параметры КИ (диаметр, толщина стенки, материал) устанавливаются в соответствии с параметрами трубопровода в месте врезки КИ. Исходными данными для математической модели являются диаметр трубы D, толщина стенки h, физико-механические характеристики (ФМХ) материала трубы, материал которой предполагался изотропным.

При выборе длины КИ учтено влияние краевого эффекта от сварного шва в зоне крепления тензодатчиков. Таким образом, длина катушки L, исключающая влияние краевого эффекта, выбрана как

$$L \approx (5 \div 10) \cdot l ,$$

где l – длина выраженного краевого эффекта для цилиндрической оболочки с параметрами, соответствующими параметрам катушки. Данное конструктивное решение выбрано в соответствии с моментной теорией расчета тонкостенных оболочек и отвечает условию, предложенному З.Б. Канторовичем [1].

Защитный кожух выполнен в виде металлической коробки, которая состоит из двух частей – корпуса и съемной крышки. Корпус представляет собой присоединительный фланец в виде рамки с выполненными по контуру резьбовыми отверстиями, привулканизированный к патрубку через слой эластомера и дополнительно зафиксированный в радиальном направлении двумя стеклопластиковыми кольцами.

Численный анализ предложенного конструктивного решения показал, что при нагружении цилиндрической оболочки регламентированной нагрузкой защитный кожух не оказывает влияния на деформируемое состояние оболочки.

Датчики деформаций монтируются внутри защитного кожуха на зашлифованную поверхность, заливаются герметиком и герметично закрываются съемной стальной крышкой, позволяющей при необходимости проводить регламентные работы. Ниже представлено одно из современных решений монтажа тензодатчиков внутри защитного кожуха (рис.2).

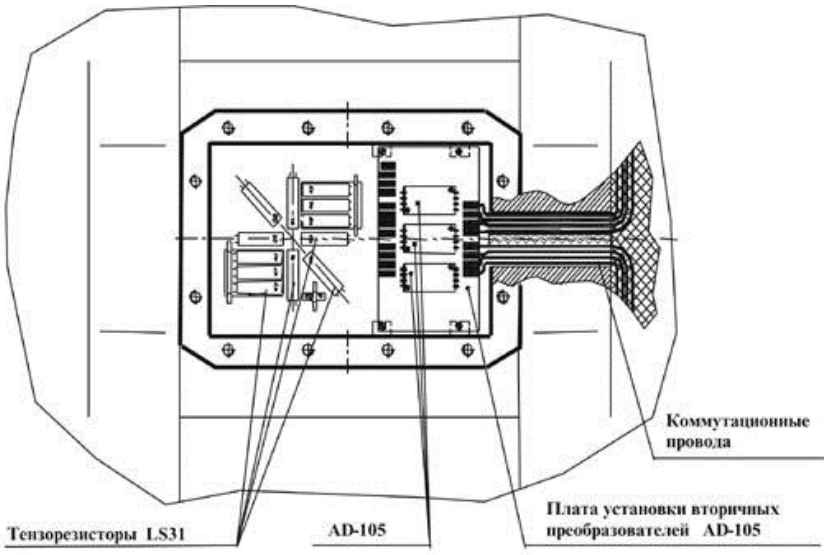


Рис. 2 – Схема установки тензодатчиков внутри защитного кожуха

Датчики деформаций выполнены по мостовой схеме, позволяющей учесть компенсацию температурных напряжений [7].

В рамках безмоментной теории оболочек, чтобы достаточно полно описать напряженное состояние в точке, необходимо знать деформации не менее чем в трех направлениях [8]. Для выявления распределения напряженного состояния по окружности необходимо определить продольные напряжения хотя бы в трех несовпадающих точках. Поэтому, как правило, принимается схема установки датчиков по схеме – не менее трех «розеток», каждая из которых содержит по три датчика деформаций.

В статье рассматривается КИ с установкой шести «розеток» по окружности через каждые 60 градусов. Пример схемы установки приведен ниже (рис. 3а). При этом расположение датчиков деформаций в одной «розетке» условно реализуется по схеме, представленной на рис. 3б. Здесь $\varepsilon_{пр}$ – датчик, измеряющий деформации в продольном направлении, $\varepsilon_{кол}$ – в кольцевом направлении, ε_{45} - в направлении под углом 45° к продольному (в одной плоскости с деформациями $\varepsilon_{пр}$ и $\varepsilon_{кол}$).

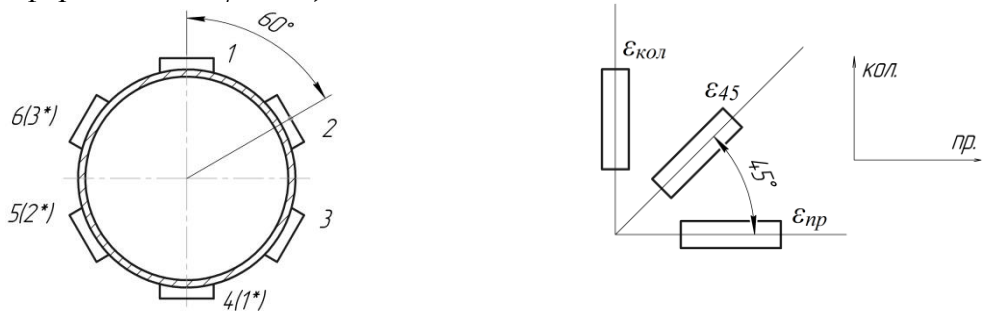


Рис. 3 а – Схема расположения «розеток» тензодатчиков на поверхности КИ; б - Схема расположения тензодатчиков в «розетке».

Для устранения разбросов показаний, обусловленных некоторым несовершенством формы катушки (в пределах требований нормативной документации на трубы), разбросом параметров по датчикам и деформацией самих датчиков в процессе монтажа, производится калибровка датчиков деформаций.

В заводских условиях к катушке приваривают эллиптические днища и нагружают внутренним давлением в диапазоне, соответствующем рабочему давлению в трубопроводе (P=0÷9,8МПа). Катушку с приваренными эллиптическими днищами располагают вертикально на специально организованную опору, чтобы исключить появление изгибающих моментов. Ниже представлена расчетная модель КИ (рис. 4).

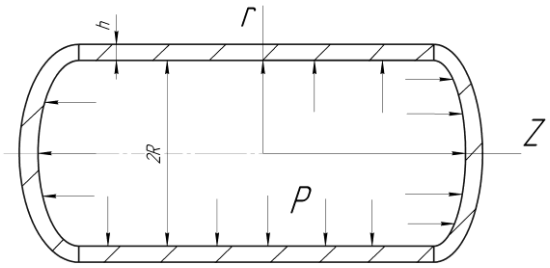


Рис. 4 – Расчетная модель КИ

При равномерном нагружении внутренним давлением от 0 до $P_{раб}$ с каждого датчика деформаций снимают показания через приблизительно равные интервалы по давлению (для трубы с рабочим давлением 9,8МПа через 1 МПа). Те же действия производят при сбросе давления от $P_{раб}$ до 0. При этом организуется порядка 11 уровней давления и соответствующих им наборов зафиксированных каждым датчиком значений деформаций. Все данные заносятся в таблицу и подлежат дальнейшему анализу [4].

Ниже приведены графики тарировочных испытаний КИ №1200-024, проведенных 08.09.2010г. на территории ЗАО «Газкомпозит» (рис. 5). Данная катушка содержит 6 «розеток» тензодатчиков, как показано на рисунке 3а. По оси абсцисс – давление P, МПа, по оси ординат – деформации $\varepsilon_i \times 10^{-6}$.

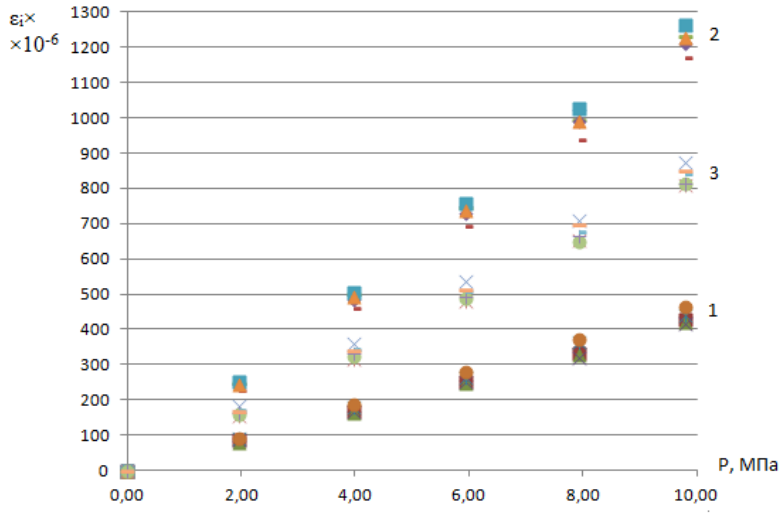


Рис. 5 – Экспериментальная зависимость деформаций от внутреннего давления.
1 – деформации $\varepsilon_{пр}$, 2 – деформации $\varepsilon_{кол}$, 3 – деформации ε_{45}

Анализ результатов измерений показал, что для каждого датчика зависимость между уровнем нагрузки и величиной деформации носит практически линейный характер. Разброс величины измеренного параметра для каждого датчика при многократном нагружении во всем диапазоне составляет порядка 1%. Данные отклонения можно отнести к приборной погрешности датчиков деформаций.

Однако величины показаний датчиков, установленных в одном направлении, при нагружении осесимметричной нагрузкой различаются между собой до 10-15%. Ниже изображены лепестковые диаграммы для испытания КИ №1200-024, наглядно демонстрирующие неравномерность показаний датчиков деформаций при нагружении

давлением P=9,8 МПа (рис. 6). Здесь нумерация по осям соответствует нумерации «розеток», шкала соответствует шкале значений деформаций $\varepsilon_i \times 10^{-6}$.

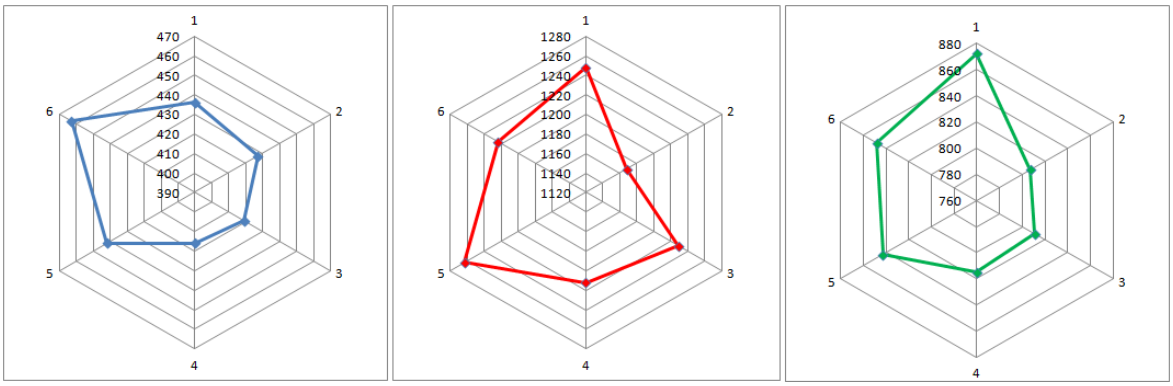


Рис. 6 – Диаграммы распределения деформаций $\varepsilon_{пр}$, $\varepsilon_{кол}$, ε_{45} в «розетках» при нагрузке P=9,8 МПа (слева направо)

Важно заметить, что данный факт имеет систематический характер и наблюдается на всех испытаниях КИ без исключения.

При сопоставлении показаний тензодатчиков КИ и расчетных значений деформаций (полученных в соответствии с существующей расчетной моделью [3] при рекомендуемых стандартных значениях ФМХ материала трубы E=204 ГПа; ν = 0,3 [6]) выявлены существенные расхождения по деформациям в продольном направлении (измеренные характеристики значительно превышают расчетные) и в меньшей степени в кольцевом направлении.

Таким образом, установлено, что существующая расчетная модель не достаточно точно описывает поведение КИ (относительная погрешность определения параметров НДС не должна превышать 10%, в то время как реальный разброс показаний датчиков превышает это значение и не согласуется с расчетной моделью). Измеренные с помощью КИ компоненты НДС и оценка работоспособности трубопровода в таком случае будут являться не достаточно достоверными.

Для выявления причин возникновения недопустимого разброса в показаниях датчиков проводился анализ чувствительности параметров деформированного состояния КИ к возможному изменению входных параметров, таких как геометрические характеристики трубы и ФМХ материала трубы (в рамках технических допусков) [5].

К основным причинам расхождения расчетных значений компонентов НДС и результатов измерений можно отнести следующие:

1. Реальные значения ФМХ материала трубы могут существенно отличаться от стандартных значений, принимаемых при расчете;
2. Материалу трубы свойственна анизотропия ФМХ, тогда как используемая расчетная модель основана на уравнениях теории упругости изотропного материала;
3. КИ, изготовленная из трубы, отвечающей всем требованиям технических условий на трубу, имеет геометрические несовершенства, типа отклонений поверхности от кругового цилиндра и разнотолщинности, что приводит к возникновению дополнительного поля НДС, имеющего случайный характер. В результате возникает проблема разделения компонентов НДС катушки на основное, вызванное действующими нагрузками и переносимое на трубопровод НДС, и дополнительное, свойственное конкретной катушке НДС. Поскольку относительная величина компонентов дополнительного НДС сопоставима с заявленной точностью измерения «интеллектуальной вставки», то без принятия соответствующих мер гарантировать заявленную точность измерения НДС не представляется возможным;
4. Наличие погрешности измерений, обусловленной индивидуальными характеристиками тензодатчиков, технологией их монтажа, коммутацией датчиков с вторичными преобразователями.

Таким образом, к числу мероприятий, необходимых для достижения заявленной точности измерения НДС, следует отнести:

1. Уточнение ФМХ материала для каждой катушки или для партии катушек, изготовленных из одной трубы;
2. Использование расчетной модели, учитывающей анизотропию свойств материала патрубков;
3. Ужесточение требований по геометрическим характеристикам катушки (проточки «на верность»), а также разработку методологии индивидуальной калибровки тензодатчиков и разработку соответствующего программного обеспечения для расчета компонентов НДС по результатам показаний тензодатчиков с учетом индивидуальных калибровочных коэффициентов.

Список литературы

1. *Беляев В.М., Миронов В.М.* Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч. I: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: учеб. пособие – Томск: Том. политех. ун-т., 2003. – 168 с.
2. *Завьялов А.П.* Совершенствование методов оценки технического состояния технологических трубопроводов по результатам диагностирования // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М., 2006. – 101 с.
3. Методика определения напряженно-деформированного состояния трубопровода в месте установки интеллектуальной вставки. ДОАО «Оргэнергогаз», 2006.
4. Методика тарировки патрубка измерительного, обработки результатов тарировки: получение коэффициента преобразования электрических сигналов в деформации. ДОАО «Оргэнергогаз», 2006.
5. *Мусеев А.А., Токарев А.Н., Лежнёва А.А.* Влияние разброса случайных параметров трубы на уровень деформаций при постоянной нагрузке // Вестник ПГТУ. Прикладная математика и механика. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011, №9. – С. 159-165.
6. СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. - М., 2001.
7. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие. Под ред. Р.А. Макарова. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
8. *Тимошенко С.П.* Пластинки и оболочки. / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Наука, 1966. – 635 с.
9. *Усошин В.А., Егоров И.Ф., Петров Н.Г., Прохожаев О.Т., Семенюга В.В., Салюков В.В., Сусликов С.П.* Концепция мониторинга потенциально опасных участков трубопровода с применением «интеллектуальных вставок» // Тезисы докладов XII Международной деловой встречи «Диагностика-2002». – Турция, г. Белек, 2002.
10. *Харионовский В.В., Дегтярев В.И., Подкользин В.П.* Контроль напряженного состояния газопроводов. – М.: Газовая промышленность, 1984, №5.

01.04.01

[1]Г.Э. Лазаренко, [1]В.Р. Агафонов, [1]С.М. Тулин, [1]В.А. Ружников, [2]Д.Г. Лазаренко

[1]Государственный научный центр Российской Федерации –
Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского
г. Обнинск, ecs@ippe.ru

[2]Обнинский институт атомной энергетики –
филиал ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ",
г. Обнинск, dglazarenko@mephi.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КОЛЛЕКТОРА ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Представлены результаты экспериментального исследования наноструктурированных углеродных материалов в качестве коллектора термоэмиссионного преобразователя. Объект исследования - композит из нанокристаллитов меди, покрытых молекулами фуллерена C_{60}. Исследования проводились на лабораторном стенде термоэмиссионных испытаний с плоскими коллекторами диаметром 14 мм. Исследуемый материал обладает низкой работой выхода электронов и, следовательно, является перспективным для повышения КПД низкотемпературных термоэмиссионных преобразователей.

Ключевые слова: *термоэмиссия, композит, наноструктурирование, коллектор.*

Объектом испытаний и исследований являлся опытный образец наноструктурированного коллектора (композит из нанокристаллитов меди, покрытых молекулами фуллерена С60) [1,2] в составе лабораторного термоэмиссионного преобразователя (ТЭП) [3]. В качестве эмиттера ТЭП используется диск из монокристалла вольфрама W(110), на который методом термического напыления нанесен слой Pt толщиной ~3 мкм. Подробное описание экспериментальной установки, методики проведения исследования и методов обработки полученных данных представлены в [4]. Рабочая площадь электродов – 1.5 $см^2$. Для измерения температуры эмиттера установлены пять вольфрам-рениевых термопар ВР 5/20–2 в двухканальных капиллярах из окиси бериллия, размещенных в теле диска эмиттера из вольфрама со стороны нагревателя эмиттера. Нагрев эмиттера проводился танталовым нагревателем с использованием электронной бомбардировки. Температура коллектора измерялась хромель-алюмелевой термопарой ХА, электроды которой выводились в двухканальной соломке из окиси алюминия.

На стадии подготовки к исследованиям проводилась термовакуумная подготовка ТЭП и технологических систем стенда с контролем массового состава остаточного газа с помощью масс-спектрометра типа МХ7304, дистилляция и перегонка цезия в цезиевый термостат и другие общепринятые процедуры. При прокачке рабочей полости лабораторного ТЭП (давление остаточных газов 10^{-4}-10^{-3} Па) стенки полости ТЭП и вакуумно-цезиевые коммуникации стенда прогревались до температуры 650 К, что превышает максимальные рабочие в цезиевом паре значения на 50-100 К. Ампула с цезием прогревалась до 550 К. На заключительной стадии термовакуумной подготовки проводилось обезгаживание электродов ТЭП. Эмиттер разогревался до температуры 1500 К с выдержкой в течение 30 минут, а коллектор разогревался до температуры 600 К и выдерживался при этой температуре в течение 5 минут. Общее время термовакуумной подготовки составило 70 часов.

При температуре электродов ТЭП ~550 К, температуре стенок рабочей полости ТЭП, вакуумно-цезиевых трактов стенда - 530 К, и титанового геттера T_g~700 К механически разрушалась стеклянная ампула с цезием. Откачка рабочей полости ТЭП перекрывалась и после проведения дистилляции цезия проходила его перегонка в цезиевый термостат.

Остатки стеклянной ампулы были отсечены прогреваемым вакуумным вентилем. Перед регистрацией ВАХ ТЭП производилась прокачка рабочей полости ТЭП магниторазрядным насосом типа НОРД–100. Поглощение остаточных газов в рабочем объеме ТЭП при дистилляции и перегонки цезия и при регистрации ВАХ ТЭП осуществлялось активным геттером из губчатого титана.

В ходе исследований проводилось измерение семейств дуговых изотермических ВАХ ТЭП импульсным методом при различной температуре эмиттера (T_E), температуре коллектора (T_C), температуре цезиевого резервуара (T_{Cs}) (давлении пара цезия (P_{Cs})).

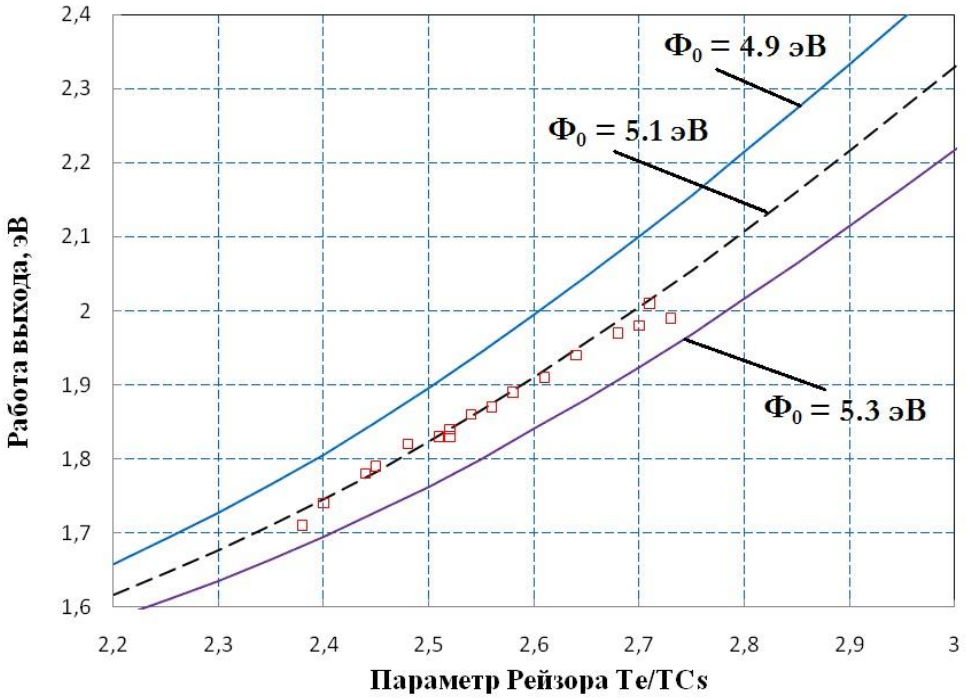


Рис. 1 – Зависимость работы выхода эмиттера в парах цезия от параметра Рейзора

На рис. 1 показана зависимость работы выхода эмиттера ТЭП в паре цезия от параметра Рейзора. Расчет работы выхода проводился по точке перегиба экспериментальных дуговых ВАХ. Расчётные значения вакуумной работы выхода эмиттера 4.9, 5.1 и 5.3 эВ приведены на рис.1 сплошными линиями. Эмиссионные свойства эмиттера ТЭП соответствуют величине вакуумной работы выхода Φ_{0E} = 5.1±0.1 эВ.

Семейства вольтамперных характеристик ТЭП, которые получены в ходе исследований для температуры эмиттера 1310 К, температуры коллектора 560 К и различной температуры цезиевого резервуара и величины межэлектродного зазора приведены на рис.2 – 4.

Для оценки эффективности работы термоэмиссионного преобразователя удобно использовать обобщенный параметр – барьерный индекс (V_B) [5].

Как видно из рис.2 – 4 в ходе исследований и испытаний ТЭП с наноструктурированным коллектором зафиксирована минимальная величина барьерного индекса V_B=2.14 эВ.

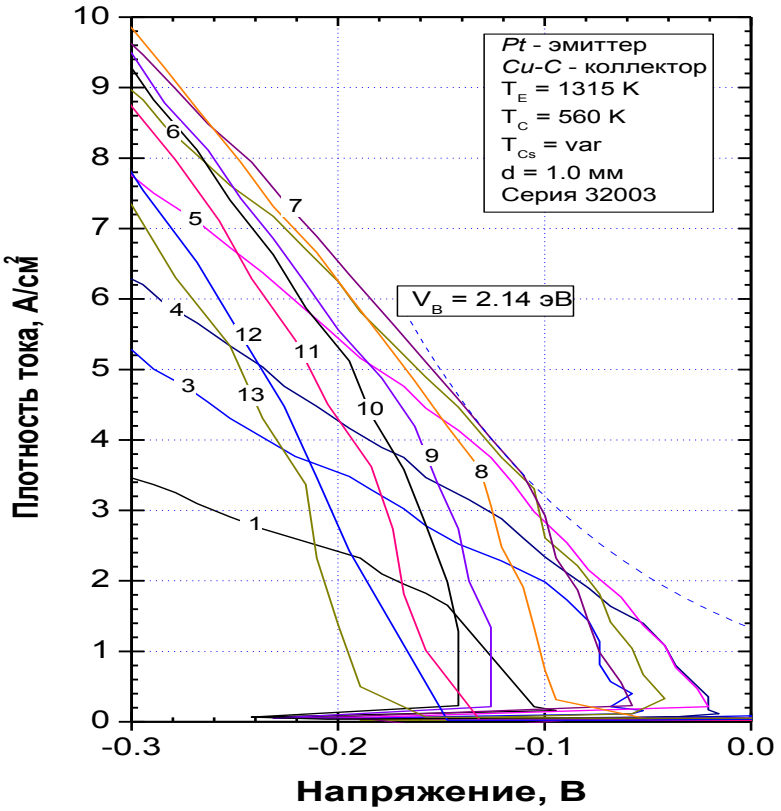


Рис. 2 – Семейство ВАХ в зависимости от температуры цезиевого резервуара:
1 – T_{Cs} = 486.3 K (P_{Cs} = 0.135 мм рт. ст.); 3 – 491.0 (0.161);
4 – 498.2 (0.209); 5 – 509.0 (0.306); 6 – 518.4 (0.419); 7 – 524.6 (0.512);
8 – 530.5 (0.617); 9 – 535.4 (0.72); 10 – 540.8 (0.85); 11 – 547.6 (1.04);
12 – 554.5 (1.27); 13 – 561.5 (1.55)

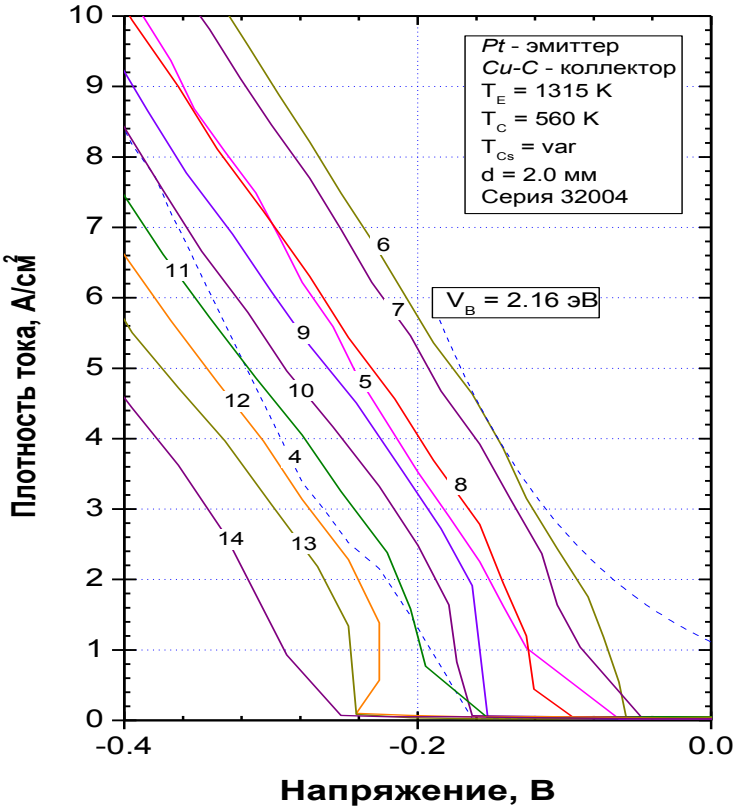


Рис. 3 – Семейство ВАХ в зависимости от температуры цезия:
4 – T_{Cs} = 458.0 K (P_{Cs} = 0.044 мм рт. ст.); 5 – 479.1 (0.10); 6 – 499.6 (0.22); 7 – 510.0 (0.316);
8 – 521.1 (0.46); 9 – 526.8 (0.55); 10 – 531.2 (0.63); 11 – 535.1 (0.714)

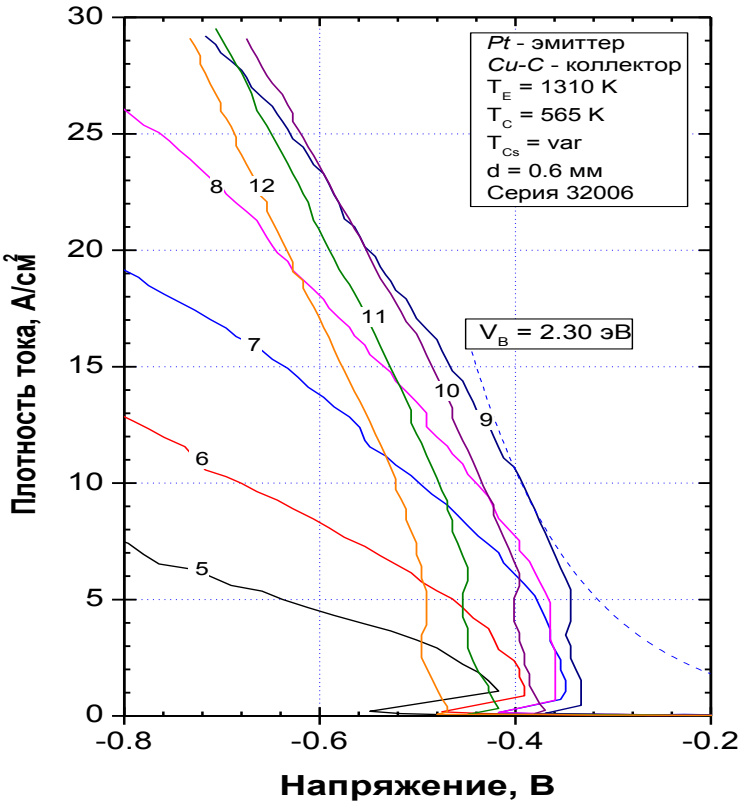


Рис. 4 – Семейство ВАХ в зависимости от температуры цезия:
7 – T_{Cs} = 523.6 К (P_{Cs} = 0.469 мм рт. ст.); 8 – 529.5 (0.598); 9 – 536.6 (0.75);
10 – 546.9 (1.02); 11 – 552.5 (1.20); 12 – 560.6 (1.51)

Таким образом, величина V_B оказалась выше ожидаемой. В результате выполненной работы установлено, что электрофизические характеристики опытного образца наноструктурированного коллектора в составе лабораторного термоэмиссионного преобразователя на настоящей стадии разработки не соответствуют в полной мере современным требованиям к эффективности преобразования энергии. Следует продолжить работу по созданию перспективного высокоэффективного коллектора ТЭП.

Работа выполнена по контракту с Государственной корпорацией «Росатом».

Список литературы

1. *Medvedev V.V., Popov M.Y., Mavrin B.N. et. al.* Cu-C60 nanocomposite with suppressed recrystallization // Applied Physics A. 2011. V. 105. P. 45.
2. *Rut'kov E.V., Tontegode A.Ya., Usufov M.M.* Evidence for a C60 Monolayer Intercalated between a Graphite Monolayer and Iridium // Phys. Rev. Lett. 1995. V. 74. P. 758
3. *Ярыгин В.И., Агафонов В.Р., Аракчеев А.А. и др.* Экспериментальное исследование элементного состава, структуры и работы выхода наноструктурированных углеродных покрытий коллектора термоэмиссионного преобразователя // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук, в.18. -Калуга, изд-во АНО КНЦ, 2013.
4. *Андриашин А.В., Мелета Е.А., Миронов В.С. и др.* Базовый комплекс аппаратных, методических и программных средств для проведения экспериментальных исследований лабораторных ТЭП // Сборник «Избранные труды ГНЦ РФ-ФЭИ за 1996 год». – Обнинск: ФЭИ, 1997.- С. 97-105.
5. *Ярыгин В.И.* Физические основы термоэмиссионного преобразования энергии. Учебное пособие по курсу «Перспективные методы получения и преобразования энергии». – Обнинск: ИАТЭ, 2006. – 104 с.

01.02.04

О.Ю. Сметанников, И.В. Самусев, Е.В. Субботин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра ВМиМ, Пермь, sou@cpl.pstu.ac.ru

МОДЕЛЬ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ФОТОПОЛИМЕРА

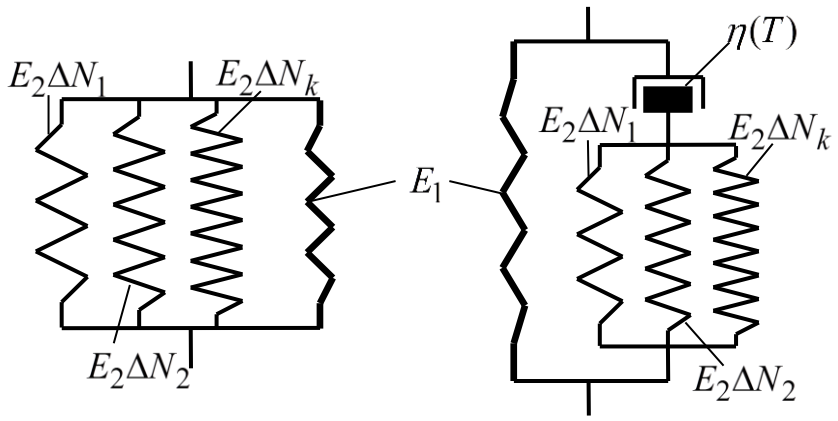
Получены определяющие соотношения для фотополимерного композита Envisiontec SI 500, применяемого для изготовления литьевых выплавляемых прототипов по технологии послойного синтеза. Приведена методика экспериментальной идентификации материальных констант физических уравнений и проверка их адекватности в независимом эксперименте.

Ключевые слова: *термомеханика, определяющие соотношения, эксперимент, стеклование, вязкоупругость*.

Технологии послойного синтеза изделий из жидких фотополимерных композиций получили широкое распространение в различных областях современного машиностроения. Наиболее эффективно ее применение в случаях, когда требуется получить небольшую партию сложных по форме деталей в сжатые сроки и высокой размерной точностью. В то же время применение синтез - моделей (прототипов) в качестве выплавляемых литьевых моделей зачастую сопровождается растрескиванием и последующим разрушением литейной формы на стадии высокотемпературного удаления модельной массы. Основная причина разрушения керамических форм связана с различием термомеханических свойств керамической оболочки и материала прототипа [1]. Один из способов снижения контактных напряжений между литьевой моделью и керамической формой - замена монолитного прототипа эквивалентным по форме в виде оболочки с ячеистым заполнителем внутренней полости. Проектирование такого рода синтез-моделей включает выбор геометрических параметров ячейки, обеспечивающих, с одной стороны, минимальный уровень контактных напряжений, а с другой - сохранение заданных параметров точности полимерной модели на всем протяжении процесса изготовления – формования. Решение данной проблемы невозможно без точного описания поведения материала в широком температурном интервале. Исследованию процесса удаления модельной массы посвящена работа [1], в которой приведены данные испытаний аналогичного фотополимера, однако описание условий эксперимента неполно, а модель исследуемого материала отсутствует. В публикациях авторов статьи [2] используются определяющие соотношения для фотополимера только в стеклообразном состоянии. В этой связи актуальной является проблема создания и идентификации новой адекватной модели термомеханического поведения фотополимера в широком температурном интервале и ее экспериментального обеспечения.

Описание модели.

Новые вязкоупругие определяющие соотношения являются развитием предложенной ранее физической модели упругого приближения для стеклующихся сшитых полимеров, представленной в работах [3-5].



а б

Рисунок 1. Механическая схема физических моделей полимеров.
а – модель упругого приближения [3], б – вязкоупругая модель.

На рис. 1 показаны структурные элементы обеих моделей. Предполагается, что процесс стеклования сопровождается ростом числа межмолекулярных связей, каждая из которых в момент своего образования является ненапряженной (тонкие пружины на рис. 1). Вклад новых связей в жесткость материала каждой пропорционален приращению степени стеклования $\Delta N_k(T_k)$ [3]. Из эксперимента известно, что температурный интервал стеклования с ростом скорости охлаждения или нагрева сдвигается вверх по температурной шкале [4]. В модели упругого приближения для учета данного эффекта вводится зависимость температуры стеклования от скорости изменения температуры $T_g(\dot{T})$. Вязкоупругая модель (рис. 1, б) описывает данный эффект, а также изотермическую релаксацию естественным образом при помощи демпфера с переменной вязкостью $\eta(T)$. При этом определяющие соотношения в одноосном варианте имеют вид:

$$\sigma(t) = \sigma_1(t) + \sigma_2(t); \quad (1)$$

$$\sigma_1(t) = E_1\left[\varepsilon(t) - \varepsilon_T(t)\right]; \quad (2)$$

$$\sigma_2(t) = E_2\left[\varepsilon_e(t)N(T(t)) - \int_0^t \varepsilon_e^*(\tau)dN(T(\tau))\right]; \quad (3)$$

$$\sigma_2(t) = \eta(T(t))\dot{\varepsilon}_v(t); \quad (4)$$

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_e(t) + \varepsilon_v(t) + \varepsilon_T(t), \quad (5)$$

где σ, ε - напряжение и деформация соответственно; σ_1 - часть напряжения, определяемая высокоэластическим модулем E_1; σ_2 - часть напряжения, определяемая наращиваемыми межмолекулярными связями (ММС) с учетом релаксации; ε_T - температурная деформация; ε_v - деформация ползучести ММС; ε_e - гипоупругая деформация ММС; $\varepsilon_e^*(\tau)$ - запасенная на стадии охлаждения («замороженная») деформация ММС.

Определение материальных констант определяющих соотношений из DMA – эксперимента.

В данном виде натурных испытаний исследуется консольно защемленный образец из материала Envisiontec SI500в виде прямоугольной пластины, подвергнутый действию гармонического изгибающего перемещения на свободном конце с постоянной частотой ω и амплитудой при изменении температуры. Испытания проводились на установке DMA Q800 TA Instruments при частоте $f = \omega / 2\pi$=1 Гц. На рис. 2 показана экспериментальная температурная зависимость комплексного модуля.

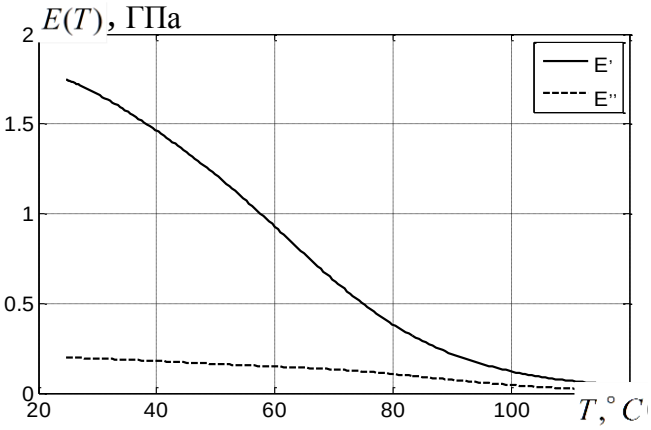


Рисунок 2. Комплексный модуль Envisiontec SI500

В соответствии со стандартизированной методикой (ГОСТ Р ИСО 10112-99) были получены выражения для действительной и мнимой частей комплексного модуля материала, описываемого моделью (1)-(5)

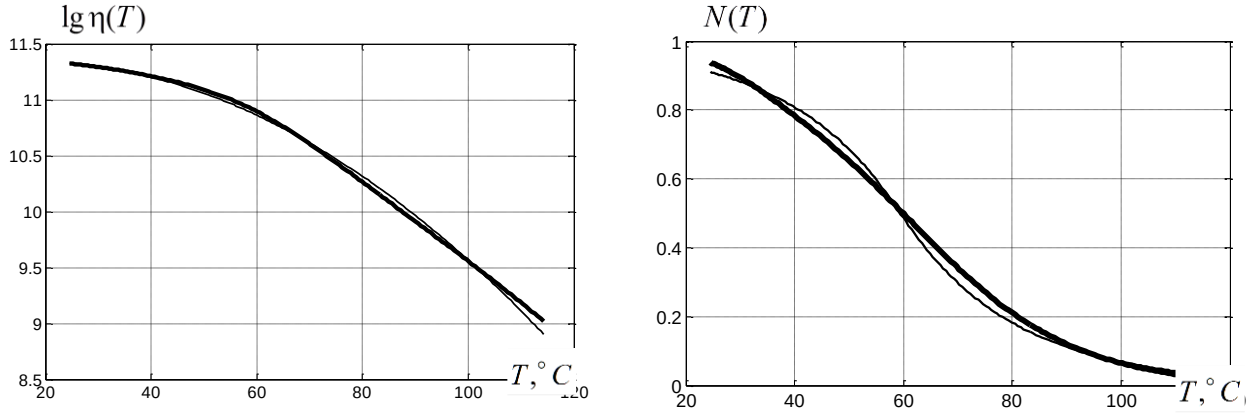
$$E'(T) = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}\cos\left(\arcsin\frac{b_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}\right); \qquad E''(T) = b_1. \tag{6}$$

где $a_1 = E_1 + E_2 N(T)\dfrac{\omega^2}{\omega^2 + b^2}$, $b_1 = E_2 N(T)\dfrac{\omega b}{\omega^2 + b^2}$, $b = \dfrac{E_2}{\eta(T)}$.

Для идентификации параметров использован следующий алгоритм.

1. По экспериментальным значениям $E'(T_i)$, $E''(T_i)$ для каждого значения температуры решается система двух нелинейных уравнений вида (6) относительно двух неизвестных $N_i \equiv N(T_i)$, $\eta_i \equiv \eta(T_i)$. Корни системы находятся в пакете MatLab минимизацией невязки между экспериментальными и расчетными $E_s'(T_i)$, $E_s''(T_i)$ значениями модулей методом деформируемого многогранника (Нелдера-Мида).

На рисунке 3 жирными линиями определенные из (21) температурные зависимости степени стеклования и вязкости. Полученные при этих значениях кривые $E_s'(T)$, $E_s''(T)$, практически совпадают с изображенными на рисунке 2 экспериментальными кривыми.



а б

Рисунок 3. Температурные зависимости $\lg\eta(T)$, Па с (а) и $N(T)$ (б).

2. Определяются коэффициенты аналитических выражений для аппроксимации найденных зависимостей выражениями вида

$$\lg\eta(T) = g_0 + g_1 T + g_2 T^2, \quad (7)$$

$$N(T) = 1 - 0.5\exp[(T - T_g)/\gamma], \ T < T_g; \ N(T) = 0.5\exp[-(T - T_g)/\gamma], \ T \geq T_g. \quad (8)$$

Коэффициенты g_i вычисляются методом наименьших квадратов, константы T_g и γ из - методом деформируемого многогранника. Получены следующие значения: g_0=-10.3363, g_1 =0.1487 K^{-1}, g_2 = K^{-2}; T_g =332.4 K, γ =20.32 K. Построенные по (7), (8) графики $\lg\eta(T)$ и $N(T)$ показаны тонкими линиями на рисунке 3 а, б соответственно.

Верификация определяющих соотношений.

Для проверки адекватности модели проводились опыты по нагреву одноосного образца от комнатной температуры под нагрузкой с различными скоростями. Образцы в форме цилиндров с размерами $d = 4$ мм, $h = 7$ мм испытывались на установке DMA Q800 TA Instruments. Программа серии включала нагрев от комнатной температуры до 150˚C с постоянной скоростью изменения температуры $\dot{T}$ под нагрузкой P=3 Н и 0 Н. Экспериментальные данные представлены на рисунке 4 жирными линиями.

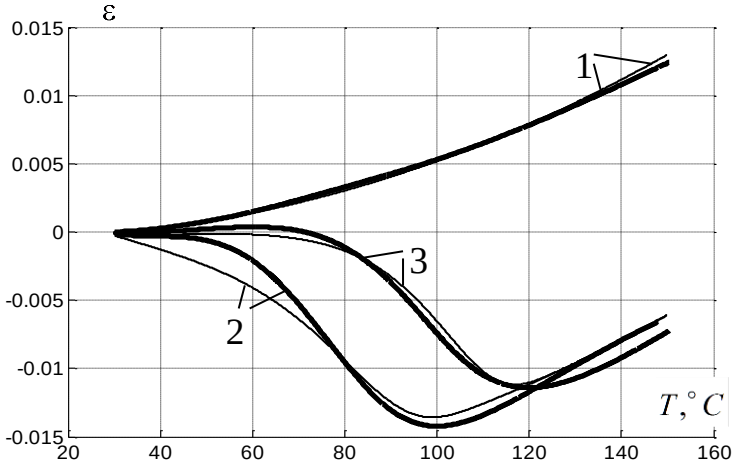


Рисунок 4. Термомеханические кривые фотополимера. 1 – свободный нагрев, $\dot{T}$ =5 К/мин, 2 - $P = 3$ Н, $\dot{T}$ =5 К/мин, 3- $P = 3$ Н, $\dot{T}$ =1 К/мин. Тонкие линии – расчет, жирные - эксперимент

Расчет деформации образца по модели (1)-(5) проводился методом Рунге-Кутты четвертого порядка при условии $\sigma = 4P/(\pi d^2) = const$. Коэффициенты аппроксимации температурной деформации вида $\varepsilon_T(T) = a_T(T - T_b) + b_T(T - T_b)^2$ определялись методом наименьших квадратов по кривой свободного нагрева (рисунок 4, жирная кривая 1):

$a_T =$ $-3.859 \cdot 10^{-4}$ К$^{-1}$; $b_T = 1.361 \cdot 10^{-6}$ К$^{-2}$. Результаты расчета показаны на рисунке 4 тонкими линиями.

С учетом того, что материальные константы определялись в другом виде эксперимента, совпадение опытных и теоретических данных следует считать хорошим. В ходе дальнейших исследований предполагается уточнение параметров разработанной модели в экспериментах, включающих эффект памяти формы, ее обобщение на случай сложного напряженного состояния и использование в численных конечно-элементных расчетах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 13-01-00553а, 13-08-96038-р_урал_а).

Список литературы

1. *Морозов В.В*. Исследование и разработка технологических режимов изготовления отливок по выжигаемым моделям, полученных методом лазерной стереолитографии: Дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04: М., 2005 161 с. РГБ ОД, 61:05-5/1949
2. *You-Min Huang, Hsiang-Yao Lan*. Dynamic reverse compensation to increase the accuracy of the rapid prototyping system // J. of Mat. Proc. Techn. - V. 167. - Iss. 2–3, 2005, P. 167–176
3. *Matveenko V.P., Smetannikov O.Yu., Trufanov N.A., Shardakov I.N.* Models of thermomechanical behavior of polymeric materials undergoing glass transition // Acta Mechanica. – 2012. – V. 223, N. 6. – P. 1261-1284.
4. *Сметанников О.Ю.* Об одной модели термомеханического поведения полимерных материалов с релаксационным переходом // Вестник СамГУ, естественнонаучная серия. 2007. №9/1(59). С. 216-231
5. *Сметанников О.Ю., Самусев И.В.* Экспериментальная идентификация параметров определяющих соотношений для фотополимерного композита // Механика композиционных материалов и конструкций. 2013. Т. 19. № 1. С. 105-116.

01.01.01

С.А. Соловьева

Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, кафедра математики, solovjeva_sa@mail.ru

К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТРЕТЬЕГО РОДА МЕТОДОМ КОЛЛОКАЦИИ

В работе предложен и обоснован специальный вариант метода коллокации, приспособленный к приближенному решению интегральных уравнений третьего рода в пространстве обобщенных функций.

Ключевые слова: *интегральные уравнения третьего рода, пространство обобщенных функций, приближенное решение, метод коллокации, теоретическое обоснование.*

Рассматривается интегральное уравнение третьего рода (УТР)

$$(Ax)(t) \equiv (Ux)(t) + (Kx)(t) = y(t), \qquad (1)$$

где $(Ux)(t) \equiv x(t)t^{p_1}(1-t)^{p_2}\prod_{j=1}^{q}(t-t_j)^{m_j}$, $(Kx)(t) \equiv \int_0^1 K(t,s)x(s)ds$, $t \in I \equiv [0,1]$,

$p_1, p_2 \in R^+$, $t_j \in (0,1)$, $m_j \in N$ $(j = \overline{1,q})$; K и y – известные непрерывные функции, обладающие определенными свойствами «гладкости» точечного характера, а x – искомая функция. К таким уравнениям приводят задачи теорий рассеяния частиц, переноса нейтронов, упругости (см., например, [1] и библиографию в ней, [2]). Как правило, естественными классами решений УТР являются специальные пространства обобщенных функций. Уравнения вида (1) точно решаются лишь в редких частных случаях, поэтому и для теории, и для приложений важной и актуальной является задача разработки и теоретического обоснования приближенных методов их решения. Ряд результатов в этой области получен в работах [3]–[7], причем в монографии [3] предложены и обоснованы специальные методы приближенного решения УТР (1), основанные на сплайнах первого и второго порядков и полиномах в пространстве $D\{p_1, p_2; \overline{m}, \overline{\tau}\}$ обобщенных функций и в пространстве типа V в частных случаях нулей коэффициента. В [4]–[7] аналогичное исследование проведено в пространстве $V\{p_1, p_2; \overline{m}, \overline{\tau}\}$.

В данной статье на основе рассуждений и результатов работ [3]–[9] предложен и обоснован в смысле [10, гл. 1] специальный вариант метода коллокации, основанный на полиномах Бернштейна, в пространстве типа D в наиболее общем случае нулей коэффициента.

1. Пространства основных и обобщенных функций. Пусть $C \equiv C(I)$ – пространство непрерывных на I функций с чебышевской нормой и $m \in N$. Следуя [11], обозначим через $C\{m; t_0\}$ класс функций $y \in C$, имеющих в точке $t_0 \in (0,1)$ тейлоровскую производную $y^{\{m\}}(t_0)$ порядка m. Пусть $t_1, t_2, \ldots, t_q$ – произвольно фиксированные попарно различные точки интервала (0,1). Каждой точке t_j поставим в соответствие число $m_j \in N$ $(j = \overline{1,q})$.

Введем линейное пространство $C\{\overline{m}; \overline{\tau}\} \equiv \bigcap_{j=1}^{q} C\{m_j; t_j\}$, где $\overline{m} \equiv \equiv (m_1, m_2, \ldots, m_q)$,

$\bar{\tau} \equiv (t_1, t_2, \ldots t_q)$ – конечные наборы соответствующих величин. Пусть $p_1 \in R^+$. Обозначим через $C\{p_1; 0\}$ пространство функций $y \in C$, имеющих в точке $t = 0$ правые тейлоровские производные $y^{\{i\}}(0)$ $(i = \overline{1, [p_1]})$, причем в случае $p_1 \neq [p_1]$ ($[\cdot]$ – целая часть числа) существует конечный предел $\lim\limits_{t \to 0+} \left\{ \left[y(t) - \sum\limits_{i=0}^{[p_1]} y^{\{i\}}(0) t^i / i! \right] t^{-p_1} \right\}$. Класс $C\{p_2; 1\}$ $(p_2 \in R^+)$ вводится аналогично. Теперь образуем основное линейное пространство $Y \equiv C\{p_1, p_2; \bar{m}, \bar{\tau}\} \equiv C\{\bar{m}, \bar{\tau}\} \bigcap C\{p_1; 0\} \bigcap C\{p_2; 1\}$. Будем считать, что $C\{0,0; \bar{0}, \bar{\tau}\} \equiv C$. Следуя ([3], с. 57), зададим в нем норму

$$\|y\|_Y \equiv \|Ty\|_C + \sum_{j=1}^{q+2} \sum_{i=0}^{m_j - 1} \left| y^{\{i\}}(t_j) \right|, \tag{2}$$

где T – «характеристический» оператор класса *Y*:

$$(Ty)(t) \equiv \left[y(t) - \sum_{j=1}^{q+2} \sum_{i=0}^{m_j - 1} y^{\{i\}}(t_j) R_{ji}(t) \right] / u(t) \equiv \Phi(t), \tag{3}$$

$u(t) \equiv t^{p_1} (1-t)^{p_2} \prod\limits_{j=1}^{q} (t - t_j)^{m_j}$, $\Phi \in C(I)$, $\Phi(t_j) \equiv \lim\limits_{t \to t_j} \Phi(t)$ $(j = \overline{1, q+2})$; $t_j \in (0,1)$ $(j = \overline{1, q})$, $t_{q+1} \equiv 0$, $t_{q+2} \equiv 1$, R_{ji} – фундаментальные полиномы Эрмита степени $m-1$ по узлам $\{t_j\}_1^{q+2}$. Здесь $m \equiv \sum\limits_{j=1}^{q+2} m_j$, $m_{q+1} \equiv \lambda_1 + 1$, $m_{q+2} \equiv \lambda_2 + 1$, $\lambda_k \equiv \lambda(p_k)$ $(k = \overline{1,2})$, $\lambda(p) \equiv [p] - (1 + \operatorname{sign}([p] - p))$.

Известно (например, [3], с. 58), что элементами пространства *Y* являются функции вида

$$y(t) = u(t)\Phi(t) + \sum_{j=1}^{q+2} \sum_{i=1}^{m_j - 1} a_{ji} R_{ji}(t), \tag{4}$$

где $\Phi(t) = (Ty)(t) \in C$, $a_{ji} = y^{\{i\}}(t_j) \in R$ $(i = \overline{0, m_j - 1}, \; j = \overline{1, q+2})$, при этом *Y* по норме (2) полно и вложено в *C*.

Пусть $B_n^T \equiv B_{n+m}^T : Y \to U(H_n) \oplus H_{m-1}$ – линейный оператор, заданный по закону

$$(B_n^T y)(t) \equiv (UB_n Ty)(t) + \sum_{j=1}^{q+2} \sum_{i=1}^{m_j - 1} y^{\{i\}}(t_j) R_{ji}(t), \tag{5}$$

где $B_n : C \to H_n \equiv \operatorname{span}\{t^k\}_0^n$ – оператор Бернштейна (например, [8], с. 22)

$$(B_n \varphi)(t) = \sum_{k=0}^{n} \varphi(\nu_k) \cdot \binom{n}{k} \cdot t^k (1-t)^{n-k}$$

по системе узлов

$$\nu_k \equiv \nu_k^{(n)} \equiv \frac{k}{n} \quad (k = \overline{0,n}). \tag{6}$$

Имеет место [7]

Лемма. Для любой функции $y \in Y$ справедлива оценка

$$\left\| y - B_n^T y \right\|_Y = O\{\omega(Ty; n^{-1/2})\}.$$

Рассмотрим теперь на основном пространстве Y семейство $X \equiv D\{p_1, p_2; \overline{m}, \overline{\tau}\}$ обобщенных функций вида

$$x(t) \equiv z(t) + \sum_{j=1}^{q+2} \sum_{i=0}^{m_j - 1} c_{ji} \delta^{\{i\}}(t_j), \tag{7}$$

где $t \in I,\ z \in C,\ c_{ji} \in R$ – произвольные постоянные, а $\delta(t_j)$ и $\delta^{\{i\}}(t_j)$ – соответственно дельта-функция Дирака и ее «тейлоровские» производные, определенные на пространстве Y основных функций по правилу:

$$(\delta^{\{i\}}(t_j), \varphi) \equiv (-1)^i \varphi^{\{i\}}(t_j) \quad (\varphi \in Y,\ i = \overline{0, m_j - 1},\ j = \overline{1, q+2}).$$

Несложно показать, что векторное пространство X относительно нормы

$$\|x\|_X \equiv \|z\|_C + \sum_{j=1}^{q+2} \sum_{i=0}^{m_j - 1} \left| c_{ji} \right| \tag{8}$$

будет полным.

2. Обобщенный метод коллокации (ОМК), основанный на полиномах Бернштейна. Пусть в УТР (1) исходные данные удовлетворяют условиям

$$K(t,s) \text{ (по } t \text{ и } s) \quad K_t^{\{i\}}(t_j, s),\ K_s^{\{i\}}(t, t_j) \quad (i = \overline{0, m_j - 1},\ \ j = \overline{1, q+2}),\ y \in Y, \tag{9}$$

а $x \in X$ – искомая обобщенная функция. Фредгольмовость и достаточные условия непрерывной обратимости оператора $A: X \to Y$ установлены в работе ([3], с. 63), там же указан метод отыскания точного решения УТР (1) в пространстве X.

Решение уравнения (1) аппроксимируем функцией

$$x_n(t) \equiv z_n(t) + \sum_{j=1}^{q+2} \sum_{i=0}^{m_j - 1} c_{ji}\, \delta^{\{i\}}(t_j), \tag{10}$$

$$z_n(t) \equiv \sum_{k=0}^{n} c_k \cdot \binom{n}{k} \cdot t^k (1-t)^{n-k}, \tag{11}$$

где $c_k \equiv \tilde{n}_k^{(n)} \quad (k = \overline{0, n})$, $c_{ji}\ (i = \overline{0, m_j - 1},\ j = \overline{1, q+2})$ – подлежащие определению параметры. Их находим согласно предложенному методу из системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)

$$\tilde{n}_k = (Ty - TKx_n)(\nu_k)\,(k = \overline{0,n}), \left(Ax_n - y\right)^{\{i\}}(t_j) = 0\,(i = \overline{0, m_j - 1},\ j = \overline{1, q+2}), \tag{12}$$

где узлы $\nu_k \ \ (k = \overline{0,n})$ определяются формулой (6).

Обоснование вычислительной схемы (1), (9)–(12) дается в следующем утверждении.

Теорема. *Пусть уравнение (1) имеет единственное решение в X при любой правой части* $y \in Y$. *Тогда при достаточно больших* $n \in N$ *приближенные решения* $x_n^*(t)$, *построенные*

на основе условий (10)–(12), существуют, единственны и сходятся по норме пространства X к точному решению $x^*(t)$ *уравнения (1) со скоростью*

$$\left\|x^* - x_n^*\right\| = O\left\{\omega_t\left(\theta; n^{-1/2}\right) + \sum_{j=1}^{q+2}\sum_{i=0}^{m_j-1}\omega\left(g_{ji}; n^{-1/2}\right) + \omega\left(Ty; n^{-1/2}\right)\right\}, \qquad (13)$$

где $\omega(f;\delta)$ *– модуль непрерывности функции* $f \in C$ *с шагом* δ*, а* $\omega_t(\varphi;\delta)$ *– частный модуль непрерывности функции* $\varphi(t,s)$ *по аргументу t;* $\theta(t,s) \equiv (T_t K)(t,s)$, $g_{ji}(t) \equiv T(K_s^{\{i\}}(t,t_j))$ $(i = \overline{0, m_j - 1},\ j = \overline{1, q+2})$.

Доказательство. Обозначим через $X_n \subset X$ $(n+m+1)$-мерное подпространство элементов вида (10)–(11), а за $Y_n \subset Y$ возьмем класс $U(H_n) \oplus H_{m-1}$. Покажем, что система (10)–(12) эквивалентна операторному уравнению вида

$$A_n x_n \equiv U x_n + B_n^T K x_n = B_n^T y \quad (x_n \in X_n,\ B_n^T y \in Y_n). \qquad (14)$$

Действительно, пусть x_n^* – решение уравнения (14), т.е. $Ux_n^* + B_n^T(Kx_n^* - \ - y) = 0$. Тогда в силу (10) и (5) имеем

$$u(t)\left(z_n^*(t) + (B_n T(y - Kx_n^*))(t)\right) + \sum_{j=1}^{q+2}\sum_{i=0}^{m_j-1}(Kx_n^* - y)^{\{i\}}(t_j)R_{ji}(t) \equiv 0. \qquad (15)$$

Ясно, что уравнение (15) эквивалентно системе

$$z_n^*(t) = (B_n T(y - Kx_n^*))(t);\ (Kx_n^* - y)^{\{i\}}(t_j) = 0\ (i = \overline{0, m_j - 1},\ j = \overline{1, q+2}). \qquad (16)$$

В левой и правой частях первого равенства системы стоят полиномы Бернштейна соответственно со значениями $\tilde{n}_k^*$ и $(y - TKx_n^*)(\nu_k)$ в узлах (6). Для преобразования второго равенства используем очевидное соотношение $(Ux_n^*)^{\{i\}}(t_j) = 0$. Следовательно, система (16) сводится к (12).

Найдем теперь меру близости операторов *A* и A_n на X_n. В силу (1), (14), (4), (2), (5) и оценки ([8], с. 245) $\left\|\varphi - B_n\varphi\right\|_C = O\{\omega(\varphi; n^{-1/2})\}$ имеем:

$$\left\|Ax_n - A_n x_n\right\|_Y = \left\|Kx_n - B_n^T K x_n\right\|_Y = \left\|TKx_n - B_n TKx_n\right\|_C =$$

$$= \max_{t\in I}\left|\int_0^1 (\theta - B_n\theta)(t,s)z_n(s)ds + \sum_{j=1}^{q+2}\sum_{i=0}^{m_j-1}(-1)^i c_{ji}\left(g_{ji}(t) - (B_n g_{ji})(t)\right)\right| \le$$

$$\le d_1\left(\omega(\theta; n^{-1/2})\cdot\left\|z_n\right\|_C + \sum_{j=1}^{q+2}\sum_{i=0}^{m_j-1}|c_{ji}|\cdot\omega(g_{ji}; n^{-1/2})\right) \le$$

$$\le d_2\left(\omega(\theta; n^{-1/2}) + \sum_{j=1}^{q+2}\sum_{i=0}^{m_j-1}\omega(g_{ji}; n^{-1/2})\right)\cdot\left\|x\right\|_X,$$

где d_1, d_2 – некоторые постоянные. Отсюда следует, что

$$\varepsilon^{(n)} \equiv \left\|A - A_n\right\|_{X_n \to Y} = O\left\{\omega(\theta; n^{-1/2}) + \sum_{j=1}^{q+2} \sum_{i=0}^{m_j - 1} \omega(g_{ji}; n^{-1/2})\right\}. \qquad (17)$$

На основании (17) и леммы из теоремы 7 ([10], с. 19) получаем утверждение доказываемой теоремы с оценкой (13).

Следствие. *Если существуют ограниченные производные* $h'_t,\ g'_{ji}\ \ (i = \overline{0, m_j - 1},\ j = \overline{1, q+2})$ и $(Ty)'\ \ (t, s \in I)$, *то в условиях теоремы справедлива оценка* $\left\|x^* - x_n^*\right\|_X = O(n^{-1/2})$.

Замечания. 1. Поскольку $\tilde{N}\{0,0;\bar{0},\bar{\tau}\} \equiv C(I)$ и $V\{0,0;\bar{0},\bar{\tau}\} \equiv C(I)$, при $p_1 = p_2 = m_j = 0\ \ (j = \overline{1, q})$ из УТР (1) получается интегральное уравнение Фредгольма второго рода в пространстве *C,* а ОМК на основе полиномов Бернштейна превращается в известный вариант метода коллокации [9], причем $(Ty)(t) \equiv y(t),\ \ \theta(t, s) \equiv K(t, s)$. Поэтому оценка (13) хорошо согласуется с оценкой, соответствующей уравнению второго рода [9].

2. Так как в условиях теоремы аппроксимирующий оператор удовлетворяет условию $\left\|A_n^{-1}\right\| = O(1)\ \ (A_n^{-1} : Y_n \to X_n,\ \ n \ge n_0)$, то ([10], с. 23–24) предложенный метод решения уравнения (1) устойчив относительно малых возмущений исходных данных. Кроме того, если УТР (1) хорошо обусловлено, то СЛАУ (12) тоже хорошо обусловлена.

Список литературы

1. *Bart G.R., Warnock R.L.* Linear integral equations of the third-kind // SIAM J. Math. Anal. 1973. V. 4. P. 609–622.
2. *Кейз К.М., Цвайфель П.Ф.* Линейная теория переноса. М.: Мир, 1972. 384 с.
3. *Габбасов Н.С.* Методы решения интегральных уравнений Фредгольма в пространствах обобщенных функций. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2006. 176 с.
4. *Соловьева С.А.* О прямых методах решения интегральных уравнений третьего рода в пространстве обобщенных функций: дис. … канд. физ.-мат. наук; Казан. гос. ун-т. Казань, 1987. 144 с.
5. *Габбасов Н.С., Соловьева С.А.* Обобщенный метод моментов для одного класса интегральных уравнений третьего рода // Дифференц. уравнения. 2006. Т. 42. № 10. С. 1416–1423.
6. *Габбасов Н.С., Соловьева С.А.* О сплайн - методе решения интегральных уравнений третьего рода // Изв. вузов. Математика. 2007. № 3. С. 3–11.
7. *Габбасов Н.С., Соловьева С.А.* О специальных вариантах метода коллокации для одного класса интегральных уравнений третьего рода. // Изв. вузов. Математика. 2012. № 8. С. 27–33.
8. *Натансон И.П.* Конструктивная теория функций. М.-Л.: Гостехиздат, 1949. 688 с.
9. *Каспицкая М.Ф., Тукалевская Н.И.* К вопросу о сходимости метода коллокации // Укр. мат. журн. 1967. Т. 19. №4. С. 48–56.
10. *Габдулхаев Б.Г.* Оптимальные аппроксимации решений линейных задач. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1980. 232 с.
11. *Пресдорф З.* Линейные интегральные уравнения // Итоги науки и техники. Современные проблемы матем. Фунд. направления. М., 1988. Т. 27. С. 8–130.

01.02.04

Д.В. Фирстов, Д.В. Бережной, Е.В. Биряльцев

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
институт математики и механики и им. Н.И. Лобачевского, кафедра теоретической механики,
Казань, firstquad@mail.ru

ОДИН ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ГРАНИЧНОЙ СРЕДЫ ДЕМПФИРОВАНИЯ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

В работе представлен результат изучения построения «граничной среды демпфирования» на основе модели вязкоупругого тела с затуханием, позволяющий в задачах динамики механики сплошной среды, при моделировании конечного участка бесконечного пространства пропускать упругие волны за границы расчетной области без ложных отражений. Сформулирован принцип и условия для эффективного применения «граничной среды демпфирования» на основе вязкоупругого тела с затуханием, для различных конфигураций исследуемых сред.

Ключевые слова: *граничная среда демпфирования, метод конечных элементов, вязкоупругое тело с затуханием.*

При численном моделировании динамических задач механики сплошной среды существует проблема возникновения волн, отраженных от границ изучаемой области. При отсутствии принятых мер борьбы с воздействиями указанных типов волн, результаты моделирования приобретают различного рода артефакты, которые существенно ухудшают их адекватность. Если размеры области определять из принципа «волна, отраженная от границ расчетной области, не должна достигнуть интересующего нас участка ранее завершения основного этапа исследуемого процесса», то либо размеры этой области приходится брать достаточно большими, увеличивая время счета, либо ограничивать временной интервал расчета, что не позволяет провести исследование с достаточной полнотой.

Известны способы решения данной проблемы, основанные на формировании «прозрачных границ» [2,5], разработанных для ряда частных случаев «поглощающего слоя» [1,3,4,6,7], которые требуют ввода дополнительных алгоритмов в численную схему. Так же возможно применение увеличения размера расчетной области до величины, исключающей воздействие отраженных от границ волн (области расширения модели) [1,6], что ведет к резкому увеличению объема моделирования, особенно в случае трехмерных моделей.

Визуализация смоделированной картины волнового поля без наложения дополнительных условий, направленных на исключение эффекта отражения от границ изучаемой области, показана на рисунке 1 для различных моментов времени.

В предлагаемом подходе к построению «граничной среды демпфирования», область моделирования и область расширения модели представлены вязкоупругим телом с затуханием, без введения дополнительных алгоритмов в расчетную схему. В области расширения параметры, определяющие затухание, плавно увеличиваются от границы области изучения к границе области расширения, как показано стрелками на рисунке 2. Плавное изменение данного параметра позволяет минимизировать отражения от слоев с различным коэффициентом затухания.

На основе данного подхода разработан алгоритм определения распределения коэффициента затухания в области расширения, основанный на применении метода конечных элементов [2].

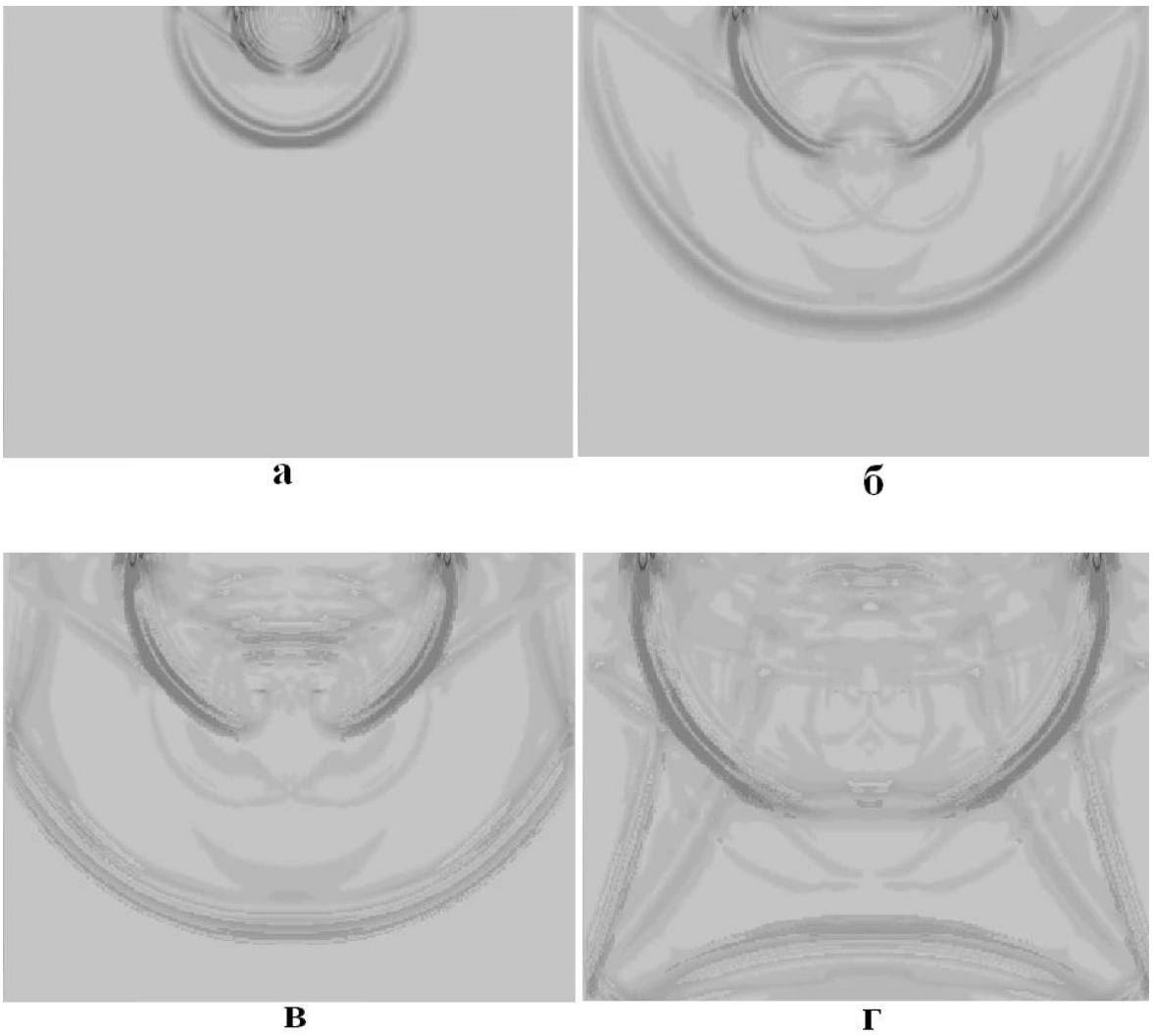


Рис.1. Визуализация распространения волн в конечной расчетной области без учета применения «граничной среды демпфирования» для различных моментов времени: а – 0.5с, б – 1.1с, в – 1.9с, г – 3.3с.

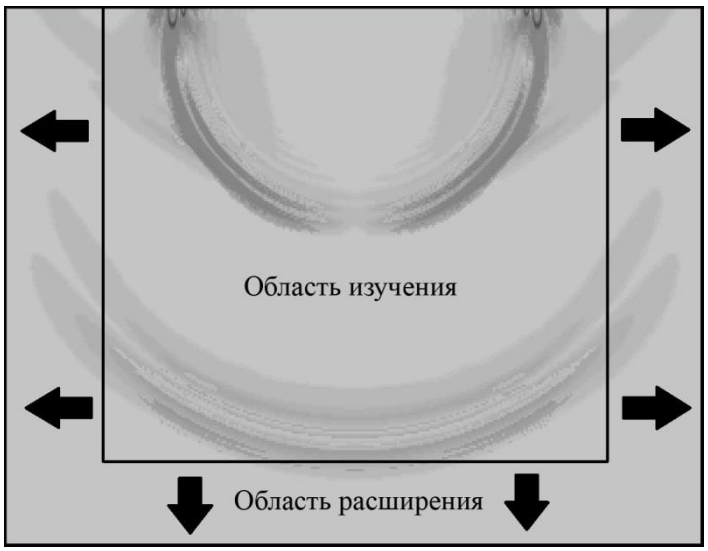


Рис.2. Схема построения «граничной среды демпфирования».

Проведен ряд численных экспериментов, показавших хорошее совпадение модельных упругих волн при использовании предложенного подхода и моделирования с областью расширения, исключающий приход отраженных волн от границ расчетной области в область моделирования. Визуализация смоделированной картины волнового поля с учетом

применения «граничной среды демпфирования» в различные моменты времени приведена на рисунке 3

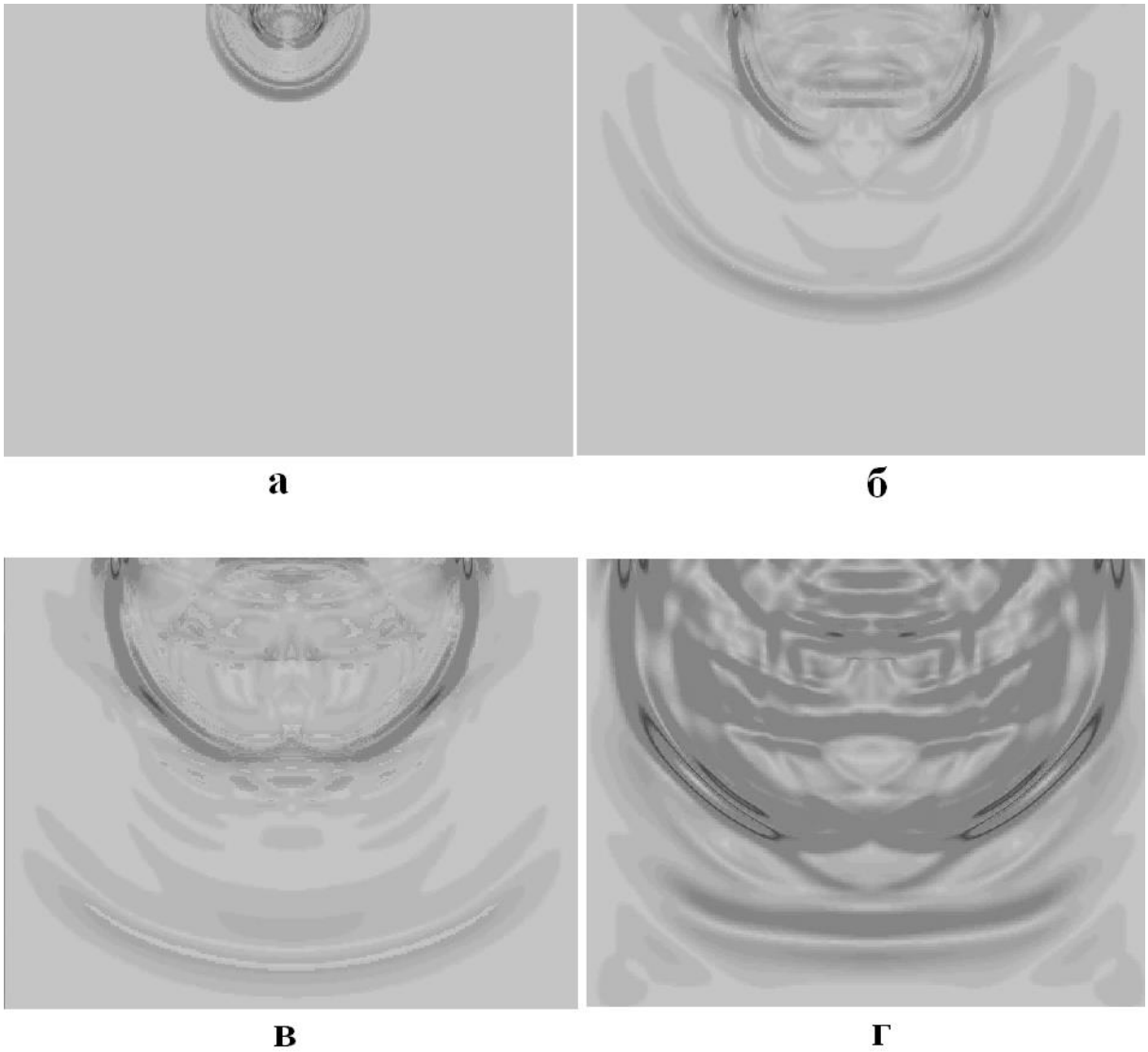


Рис.3. Визуализация распространения волн в конечной расчетной области с учетом применения «граничной среды демпфирования» для различных моментов времени: а – 0.5с, б – 1.1с, в – 1.9с, г – 3.3с.

Выявлено отличие получаемых модельных волн в низкочастотной части спектра, что обусловлено недостаточным поглощением данной части спектра вязкоупругой средой области расширения.

Предложенный подход не требует введения специальных процедур и функций в используемую численную схему. Требуемая область расширения существенно меньше, чем в классическом случае области расширения без затухания. Отличия в низкочастотной части спектра могут регулироваться путем задания размера области расширения до допустимых величин. Для улучшения поглощения низкочастотной части спектра может быть также предложено увеличение в области расширения не только коэффициентов затухания, но и размеров ячеек, что является направлением дальнейших исследований.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 12-01-00955, № 12-01-97026, № 12-01-31212, № 13-97057, № 13-01-97058.

Список литературы

1. *Винниченко А.А., Зайцев Н.А.* Прозрачные граничные условия для волнового уравнения в квадратной области. – Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2009. – № 80. – 20с.
2. *Голованов А.И., Бережной Д.В.* Метод конечных элементов в механике деформируемых твердых тел. – Казань, – 2001.- 301с.
3. *Ильгамов М.А., Гильманов А.Н.* Неотражающие условия на границах расчетной области. – М.: Физматлит, 2003. – 240с.
4. *Камилов М.Р. Рыжов В.А., Биряльцев Е.В., Бережной Д.В.* Моделирование процесса естественного образования вертикально-направленных объемных волн в геосреде // Экспозиция Нефть Газ. – 2012. – № 1(19). – С.5-7.
5. *Мокшин Е.В., Биряльцев Е.В., Бережной Д.В.* Сопоставление метода «time reverse modeling» и метода дифракционного суммирования в задаче пространственно-временной локализации микросейсмического события // Экспозиция Нефть Газ. – 2012. – № 2(20). – С.21-23.
6. *Софронов И.Л.* О применении прозрачных граничных условий в задачах аэроакустики // Математическое моделирование. – М.: Мир, 2007. – Т. 19, № 8. – С.105-112.
7. *Фирстов Д.В., Бережной Д.В., Биряльцев Е.В.* Один подход к реализации поглощающих граничных условий при численном решении динамических задач механики сплошной среды. // XXIV Международная конференция «Математическое моделирование в механике деформируемых тел и конструкций. Методы граничных и конечных элементов – BEM&FEM 2011». Труды XXIV Международной конференции. – С.Петербург, 2011. – Т.1., С.128-129.

01.02.04

Д.В. Фирстов, Д.В. Бережной, А.А. Саченков, Л.Р. Секаева

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
институт математики и механики и им. Н.И. Лобачевского, кафедра теоретической механики,
Казань, firstquad@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 2D И 3D СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В работе представлена оценка адекватности 2D и 3D сейсмогеологических моделей. Проведено изучение их особенностей, а так же численное моделирование для получения спектров модельных сигналов при различном расположении точек записи, с целью их сравнительного анализа.

Ключевые слова: *метод конечных элементов, вязкоупругое тело с затуханием, 2D и 3D сейсмогеологические модели.*

Одним из этапов геофизических работ является 2D и 3D моделирование геологических сред, содержащих продуктивные пласты. 3D модель более точна, однако она требует больших вычислительных и материальных ресурсов.

Для построения сейсмических изображений необходимо знать распределение скоростей в среде, которое определяется моделью среды. Наиболее простыми являются три модели слоистой среды, характеризующиеся постоянным значением скоростей в каждом слое (рисунок 1).

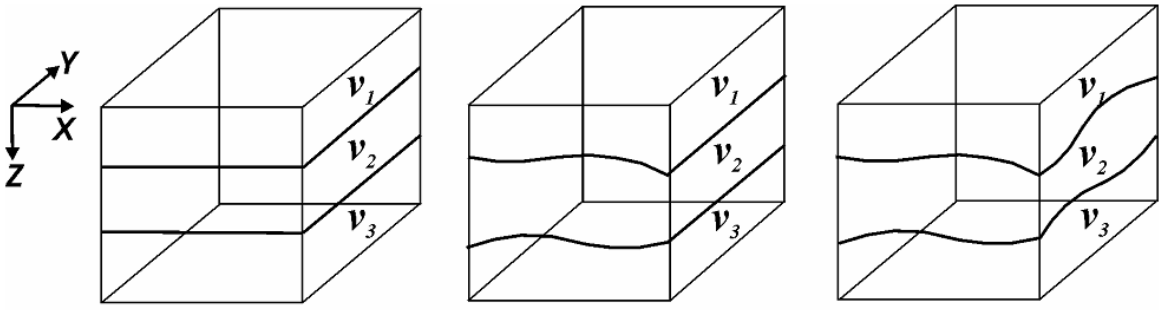
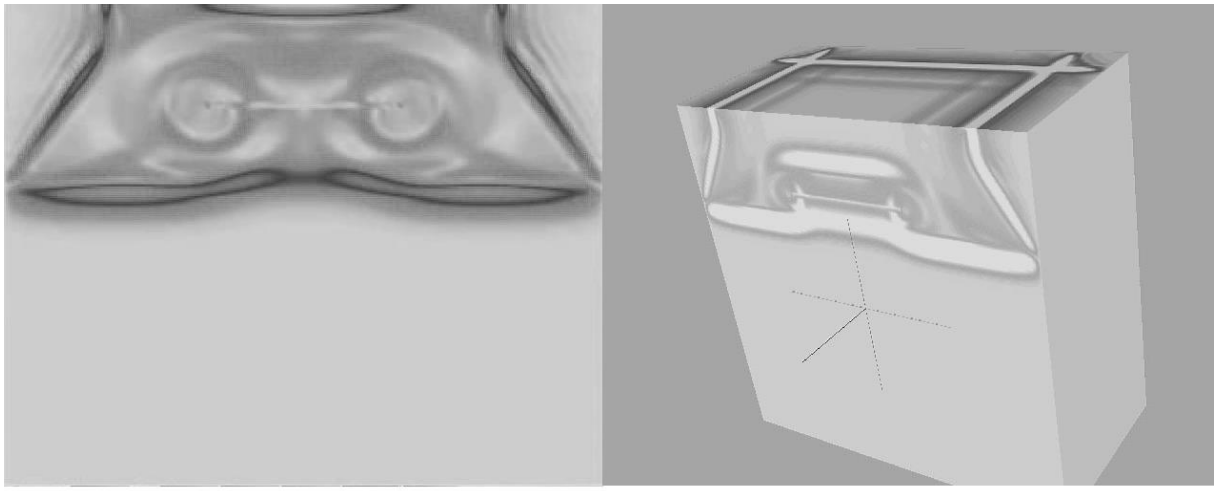


Рис.1. Простейшие сейсмогеологические модели слоистых сред, в предположении о которых работает сейсморазведка.

Одномерная модель (рис.1а) - горизонтально-слоистая модель, ось симметрии которой совпадает с координатой Z. Её используют при сейсмических построениях и при увязке сейсмических материалов со скважинными данными. 2D модель (рис.1б) является более сложной моделью, которая характеризуется плоскостью симметрии XZ. Обращаясь к рисунку 1б можно утверждать, что правильное изображение среды получается только в одном случае – если сейсмические профили будут проложены строго перпендикулярно простиранию слоев (в направлении X). Любое другое направление профилей приводит к искажению результатов. 3D модель (рис.3в) с полным отсутствием симметрии является наиболее реальной, когда глубины и конфигурации слоев ведут себя произвольно в любом из трех направлений.

Для более полного анализа были проведены расчеты распространения сейсмических волн в грунтовом массиве с «включением» для случаев 2D- и 3D-моделирования. Расчет проводился для области размером 3X3X3 км, геологическая среда моделировалась телом Фойгта. Дискретизация расчетной области проводилась на основе метода конечных

элементов [2], использовалась сетка размером 150X150X150 восьмиузловых трехмерных конечных элементов сплошной среды. Интегрирование по времени проводилось по явной схеме с шагом по времени 0,0005 сек, модельное время составило 6 с. Моделировался плоский удар по верхней поверхности расчетной области. В ряде точек верхней поверхности расчетной области фиксировались значения скорости вертикальных перемещений, которые в дальнейшем пересчитывались в сейсмомеханические параметры [1,3,4], по которым строилась амплитудно-частотная характеристика получаемого сигнала. Распределение точек записи начиналось от центра залежи в сторону модели с расстоянием между точками 100 м.



а **б**

Рис.2. Визуальзация картины волнового поля случая 2D (а) и 3D (б)

Спектры получались быстрым преобразованием Фурье с базой 512 отсчетов и сдвигом окна 128 отсчетов, что на длине записи 2000 отсчетов дает 15 кадров на одной точке и 120 на 8 точках, что позволяет применить статистические методы обработки. Полученные кадры нормировались на единицу в диапазоне 0.1-10 Гц, а затем усреднялись. На рисунках 3 и 4 представлены усредненные таким образом спектры для случаев 2D- и 3D-моделирования.

В случае 2D-моделирования спектральная кривая над «включением» характеризуется наличием пика на частоте 7.0 Гц (рис.3). В случае 3D-моделирования спектральная кривая над залежью характеризуется наличием ярко выраженных спектральных аномалий в диапазоне частот от 0.9 до 9.0 Гц (рис.4), над «включением» наблюдается более яркая модальность.

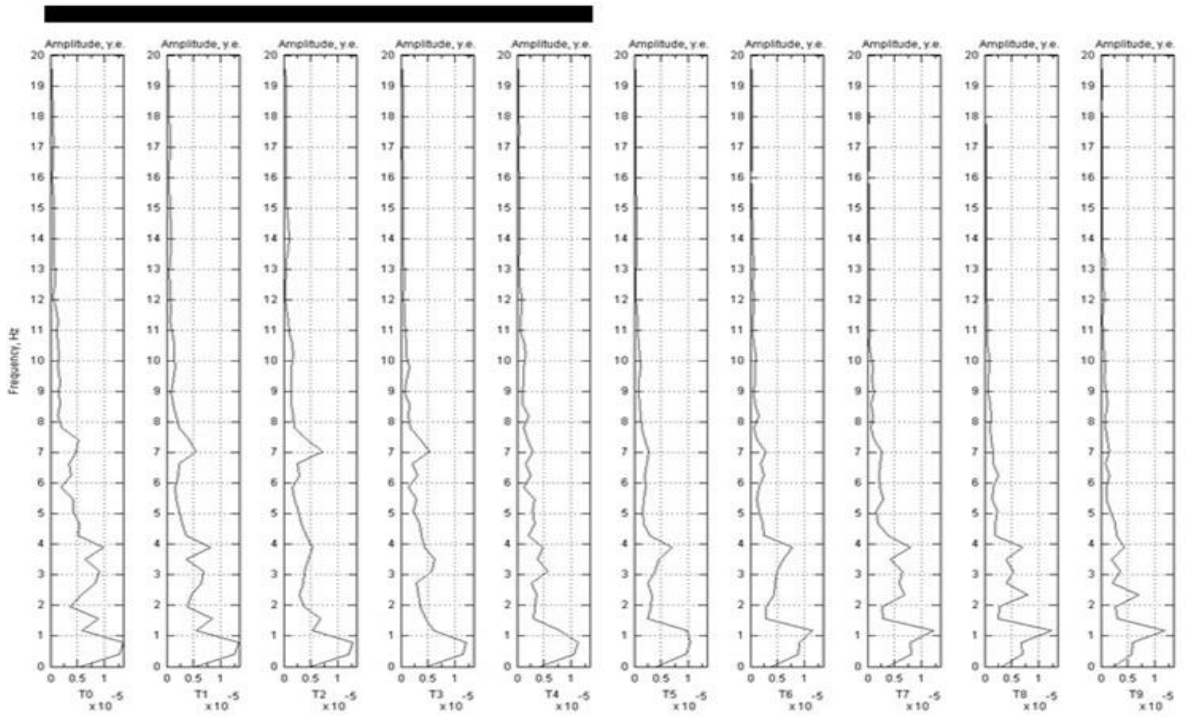


Рис.3. Спектральная кривая над залежью в случае 2D

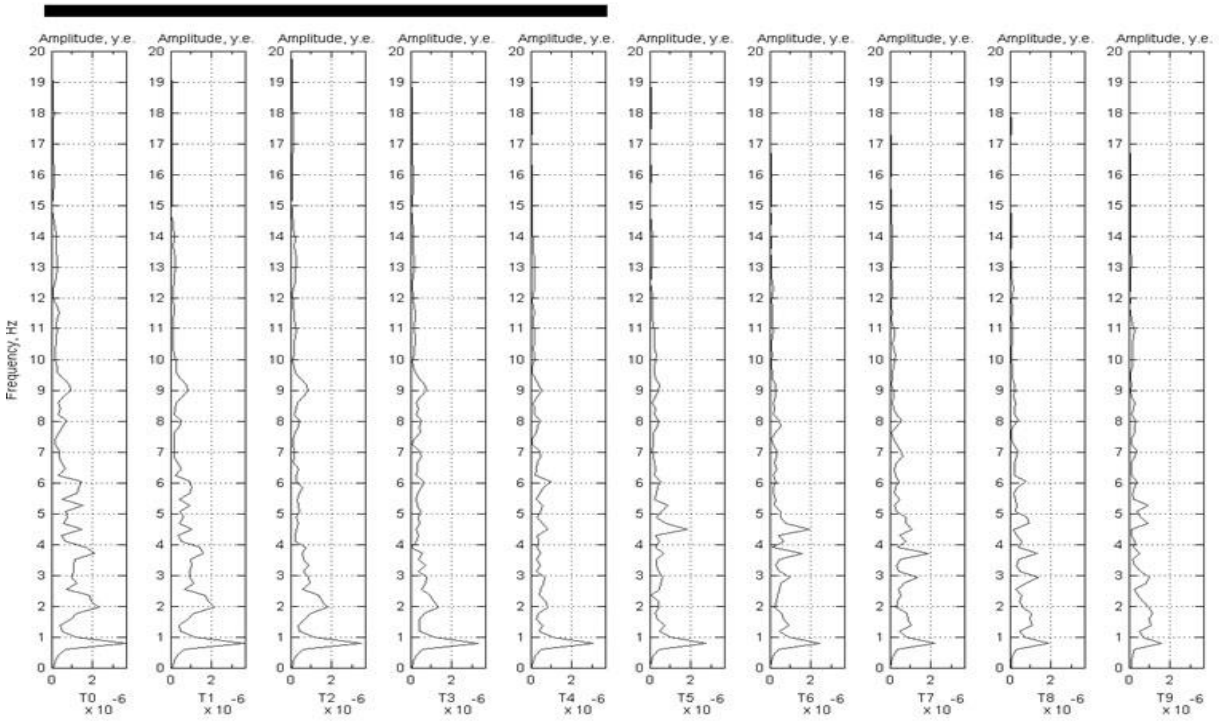


Рис.4. Спектральная кривая над залежью в случае 3D

При моделировании залежи на различных глубинах залегания прослеживается устойчивое наличие второго максимума. Это, по оценкам специалистов-геологов, подтверждает адекватность модели и правильность интерпретации второго максимума на спектрах полевых наблюдений как сигнала о наличии залежи в разрезе. Вместе с тем, зависимость положения максимума от глубины залегания нелинейна. При глубине залегания 250 метров прослеживается наличие максимума в диапазоне 10-12 Гц. В случае залегания залежи на глубине 500-1500 метров прослеживается наличие максимума в диапазоне 5-6 Гц, что не

позволяет однозначно определить глубину залегания по местоположению второго максимума.

Тем не менее, полученная после проведения численного моделирования визуализация процессов распространения сейсмических волн в геологической среде с «включением» показывает неплохую схожесть картины волнового поля моделей при 2D- и 3D-моделировании (рис.2а и 2б).

Заметное отличие спектров 3D модели от 2D, имеет место по ряду возможных причин:

- отличие отраженных боковых волн;
- разница геометрического расхождения волн;
- ограниченный вычислительными ресурсами размер моделируемой области.

Проведенное численное моделирование показало: адекватность моделей для поставленной задачи, схожесть картины волнового поля для 2D и 3D моделей, повышение информативности о конфигурации геологического разреза при совместном использовании 2D и 3D моделей. Так же появилось поле для экспериментов, направленных в сторону изучения влияния на результаты моделирования: коэффициентов затухания, боковых волн, криволинейности геометрии залежи, размеров моделируемой области.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 12-01-00955, № 12-01-97026, № 12-01-31212, № 13-97057, № 13-01-97058.

Список литературы

1. *Бережной Д.В., Биряльцев Е.В., Биряльцева Т.Е. и др.* Анализ спектральных характеристик микросейсм как метод изучения структуры геологической среды // НИИ математики и механики Казанского университета. 2003-2007гг. / Научн. ред. и сост. *А.М. Елизаров*. – Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. – С.360-386.

2. *Голованов А.И., Бережной Д.В.* Метод конечных элементов в механике деформируемых твердых тел. – Казань, – 2001.- 301с.

3. *Камилов М.Р. Рыжов В.А., Биряльцев Е.В., Бережной Д.В.* Моделирование процесса естественного образования вертикально-направленных объемных волн в геосреде // Экспозиция Нефть Газ. – 2012. – № 1(19). – С. 5-7.

4. *Мокшин Е.В, Биряльцев Е.В., Бережной Д.В.* Сопоставление метода «time reverse modeling» и метода дифракционного суммирования в задаче пространственно-временной локализации микросейсмического события // Экспозиция Нефть Газ. – 2012. – № 2(20). – С. 21-23.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.03

П.А. Агатьев, А.В. Саматов, Р.М. Шленев, А.В. Тарасов д.х.н.

Ярославский Государственный Технический Университет,
химико-технологический факультет, кафедра химической технологии органических веществ,
Ярославль, pavelagatyev@yandex.ru

СУЛЬФОХЛОРИРОВАНИЕ ЭФИРОВ 2-ТИОФЕНКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ

При сульфохлорировании эфиров 2-тиофенкарбоновой кислоты обнаружен факт преимущественного вступления сульфонилхлоридной группы в 5-положение. Во время выделения продуктов сульфохлорирования изопропилового и трет-бутилового эфира 2-тиофенкарбоновой кислоты путем выливания реакционной массы на лед происходит гидролиз эфирной группы.

Ключевые слова: *2-тиофенкарбоновая кислота, метиловый эфир 2-тиофенкарбоновой кислоты, протонирование карбонильной группы, сульфохлорирование, гидролиз сложноэфирной группы.*

Сульфопроизводные бензойных кислот широко используются в качестве заменителей сахара, пищевых добавок, лекарственных препаратов, сельскохозяйственных химикатов [1,2]. Наиболее доступными и близкими по химическим свойствам к сульфобензойным кислотам являются сульфопроизводные тиофенкарбоновых кислот, и, в первую очередь, производные 2-тиофенкарбоновой кислоты.

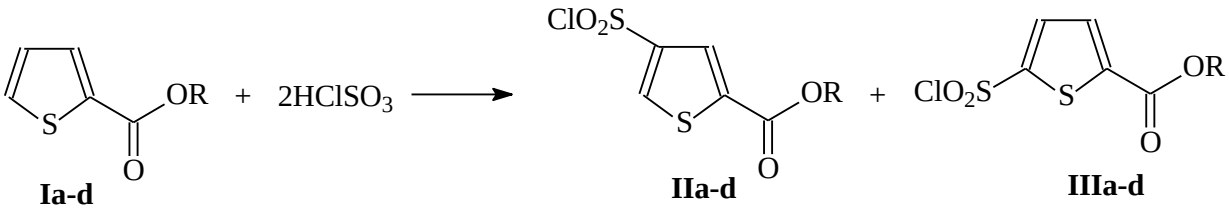
Чаще всего в основе получения сульфокарбоновых кислот как бензольного, так и тиофенового ряда лежит реакция сульфохлорирования. Несмотря на то, что тиофеновый цикл можно отнести к ароматическим системам, реакции электрофильного замещения в нем слабо подчиняются общим принципам ориентации вступления электрофильной частицы в ароматическое ядро. Это утверждение так же верно и для производных тиофена, в том числе и для 2-тиофенкарбоновой кислоты. Существенную роль в ориентации в этом случае играет как заместитель, так и атом серы, поэтому часто не наблюдается преимущественное или исключительное α-замещение.

Электроноакцепторность заместителя существенно влияет на соотношение образующихся при электрофильном замещении в тиофенах 4- и 5-изомеров. Так, наличие сильного электроноакцепторного заместителя в 2-положении в тиофене способствует протеканию замещения не в 5-, а в 4- положение, и в случае сульфохлорирования 2-тиофенкарбоновой кислоты приводит к образованию смеси 4- и 5-изомеров [3].

Присутствие избытка сильной минеральной кислоты, в том числе хлорсульфоновой, ведет к протонированию карбонильной группы, тем самым увеличивается электроноакцепторный эффект заместителя. К такому же результату приводит комплексообразование с кислотами Льюиса [4,5]:

В результате наиболее предпочтительным становится образование 4-изомера, как в случае сульфохлорирования амидов 2-тиофенкарбоновой кислоты [6].

В работе изучено сульфохлорирование эфиров 2-тиофенкарбоновой кислоты хлорсульфоновой кислотой:



Строение исходных соединений и результаты, полученные в ходе эксперимента приведены в таблице 1.

Для подтверждения структуры полученных соединений и нахождения изомерного состава продукты **IIa-e** и **IIIa-e были переведены** в 4 и 5-(морфолин-4-илсульфонил)-тиофен-2-карбоновые кислоты **IVa-e** и **Va-e.**

Таблица 1 – Выходы продуктов сульфохлорирования соединений **I** хлорсульфоновой кислотой и изомерный состав полученных продуктов

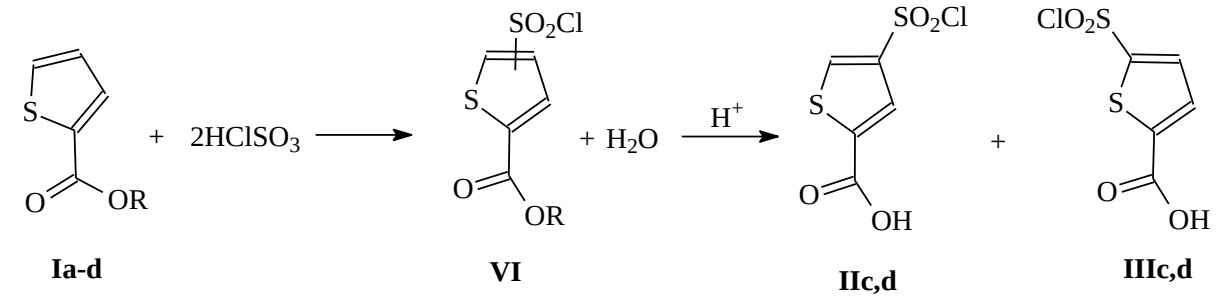
Мольное соотношение субстрат : ХСК 1 : 4; время протекания реакции 2 ч; температура 60 °С

№ исходного соед.	Заместитель R в исходном соединении	Выход (II+III), %	Соотношение 4- и 5-изомеров***
Ia	$-CH_3$	85	19:81
Ia *	$-CH_3$	85	5:95
Ib	$-C_2H_5$	80	21:79
Ic	$-CH(CH_3)_2$	81**	15:85
Id	$-CH(CH_3)_3$	86**	11:89
* - реакция проводилась в среде хлороформа ** - в продуктах реакции R=H *** - определялось соотношение продуктов **IVa-e** и **Va-e**			

Как видно из таблицы, при сульфохлорировании метил тиофен-2-карбоксилата **Ia** общий выход продуктов составил порядка 85 %, при этом доля 4-замещенного сульфонилхлорида **IIa** составила 19 %, а 5-изомера **IIIa** 81 %. Таким образом при сульфохлорировании сложных эфиров замещение в 4-положение протекает в меньшей степени, чем в случае сульфохлорирования исходной кислоты и её амидов [3,6].

Сульфохлорирование метилового эфира 2-тиофенкарбоновой кислоты **Ia** в среде хлороформа приводит к увеличению доли 5-изомера **IIIa** в продуктах реакции до 95 %, что, возможно, объясняется уменьшением кислотности среды.

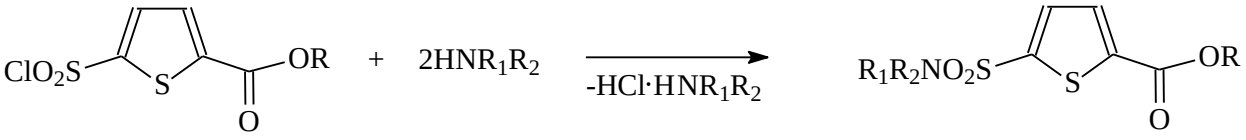
К подобному результату приводит и сульфохлорирование эфиров **Ib-d**, однако в случае изопропилового и трет-бутилового эфиров при обработке реакционных масс, содержащих продукты сульфохлорирования, в обоих случаях была выделена смесь продуктов **IIc,d** и **IIIc,d –** 4 и 5-(хлорсульфонил)тиофен-2-карбоновые кислоты, образовавшиеся в результате гидролиза сложноэфирной группы:



Ia-d **VI** **IIc,d** **IIIc,d**

Факт гидролиза сложных эфиров ароматических карбоновых кислот при выливании их раствора в сильной минеральной кислоте в воду хорошо известен [7]. По всей видимости, в данном случае легкость образования катиона ацилия в сильнокислой среде и тот факт, что изопропиловый и трет-бутиловый заместители объемны и являются хорошими уходящими группами, способствуют гидролизу эфирной группы.

Полученные 5-сульфонилхлориды **IIIa-d** могут быть легко очищены от примеси 4-изомера **IIa-d** перекристаллизацией из бензола или толуола и затем использованы для получения сульфониламидов **VII**:



IIIa-d **VII**

Модификации можно подвергать и свободную карбоксильную группу для расширения спектра соединений с потенциальной биологической активностью. При этом сама кислота гораздо предпочтительнее эфира с точки зрения возможности проведения различных модификаций сульфохлоридной и карбоксильной группы.

Таким образом проведенные нами исследования в области сульфохлорирования хлорсульфоновой кислотой эфиров тиофенкарбоновой кислоты позволили нам выбрать условия для синтеза 5-сульфонилпроизводных 2-тиофенкарбоновой кислоты.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Общая методика сульфохлорирования (соединения Ia-e). К 0,4 моль свежеперегнанной хлорсульфоновой кислоты постепенно прибавляли 0,1 моль исходного ароматического соединения при тепературе 15-20 °С. После полного растворения реагентов смесь нагревали до 60 °С в течении 2 ч. По истечении указанного времени выливали реакционную массу на лед. Выпавший осадок быстро отфильтровывали и промывали на фильтре до нейтральной среды.

Образцы сульфонилхлоридов переводились в соответствующие морфолиды для предотвращения возможного гидролиза сульфонилхлоридной группы во время анализа. Сложноэфираня группа после этого подвергалась количественному гидролизу в водном растворе гидрооксида калия. Чистые **Метил 5-(морфолин-4-илсульфонил)-тиофен-2-карбоксилат** и **5-(морфолин-4-илсульфонил)-тиофен-2-карбоновая кислота** были выделены кристаллизацией из раствора уксусной кислоты .

Анализ изомерного состава полученных продуктов проводился методом ЯМР ^{1}H спектроскопии. Спектры ЯМР ^{1}H регистрировались на приборе «Bruker MSL-300» в 10 % растворе ДМСО-d_6 относительно внешнего стандарта гексадиметилдисилоксана.

Общая методика получения сульфонамидов. 0,01 моль сульфонилхлорида нагревали с 0,025 моль амина в растворе ацетонитрила с последующим выделением полученных продуктов выливанием в воду и кристаллизацией из уксусной кислоты.

Общая методика гидролиза сложных эфиров. Смесь 0,01 моль сульфонамида и 0,03 моль гидрооксида калия, растворенной в воде нагревали до 90 °С в течении одного часа. Реакционную массу охлаждали до комнатной температуры и высаживали продукт соляной кислотой, затем подвергали кристаллизации из уксусной кислоты.

Метил 5-(морфолин-4-илсульфонил)-тиофен-2-карбоксилат. Выход 77%. Т. пл. °С. Спектр ЯМР ^{1}Н (δ, м.д.): 7,93 д (1Н, Ar, ^{3}J 3,7 Гц), 7,71 д (1Н, Ar, ^{3}J 3,7 Гц), 3,89 с (3Н, OCH_3), 3,68 т (4Н, ^{4}J 9,1 CH_2), 2,99 т (4Н, ^{4}J 9,1 CH_2).

5-(морфолин-4-илсульфонил)-тиофен-2-карбоновая кислота. Выход 56%. Т. пл. °С. Спектр ЯМР ^{1}Н (δ, м.д.): 13,90 с (1Н, COOH), 7,83 д (1Н, Ar, ^{3}J 3,8 Гц), 7,69 д (1Н, Ar, ^{3}J 3,8 Гц), 3,68 м (4Н, ^{4}J 9,6 CH2), 2,98 м (4Н, ^{4}J 9,6 CH2).

4-(морфолин-4-илсульфонил)-тиофен-2-карбоновая кислота.

Свойства и расшифровка ЯМР ^{1}Н спектра данного соединения описаны в статье [3].

Список литературы

1. *Машковский М.Д.* Лекарственные средства. Т. 2. М: ООО «Издательство новая волна». 2002. 608 с.;

2. Химическая энциклопедия. В 5 т. Под ред. *И.Л. Кнунянц, Н.С. Зефиров, Н.Н. Кулов* – М. : Советсвкая энциклопедия, 1988.

3. *Тарасов А.В.* Сульфохлорирование 2-тиофенкарбоновой кислоты // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2003. Т. 46. Вып. 9 С. 11-13;

4. *Беленький Л.И.* Новые направления химии тиофена / Л.И. Беленький, Е.П. Захаров, М.А. Калик; Под ред. Я.Л. Гольдфарба. М.: Наука. 1976. - С. 350-353;

5. *Альфонсов В.А.* Получение и свойства органических соединений серы / В.А. Альфонсов, Л.И. Беленький, Н.Н. Власова и др.; Под. ред. Л.И. Беленького. М.: Химия, 1998. - 560 с.

6. *Писарев П.К.* Некоторые закономерности сульфохлорирования амидов 2-тиофенкарбоновой кислоты / П.К. Писарев, А.В. Тарасов, Ю.А. Москвичев, А.А. Никифорова, А.С. Быченков // Изв. вузов. Химия и хим. технология. - 2007. -Т. 50. - Вып. 4 - С. 3-5;

7. *Реутов О.А.* Органическая химия. В 4-х частях: Учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению и специальности «Химия» / *О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин* – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 544с. ил. Ч. 3. – С. 228-229.

02.00.04

И.В. Артамонова, И.Г. Горичев, Е.Н. Чернышова, Е.Б. Годунов, С.М. Русакова

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ),
экологический факультет, кафедра «Химия металлов»,
Москва, artamonova@mami.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ РАСТВОРЕНИЯ КАЛЬЦИТА И РАСЧЕТА КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Изучена кинетика растворения кальцита при различных условиях проведения эксперимента (перемешивание, pH, при разных температурах). Разработана методика обработки экспериментальных данных с использованием кинетических кривых α–t, которая позволила найти зависимость ее значения от перемешивания и разделить скорости диффузионных и кинетических процессов.

Ключевые слова: *растворение кальцита, диффузионные процессы, удаление накипи.*

Введение

Поиск эффективных способов очистки теплонагревательных поверхностей от осадков карбонатов металлов требует тщательного изучения кинетики растворения основного компонента таких отложений – карбоната кальция [1–6]. До сих пор в литературе не было приведено четкого поэтапного описания последовательности действий по обработке экспериментальных кинетических данных, что не позволяло исследователям достоверно рассчитать скорость растворения и найти ее зависимость от условий проведения эксперимента.

Цель настоящей работы – разработать методику анализа кинетических кривых растворения порошкообразных и дисковых образцов кальцита, которая позволяет определить кинетические параметры процесса и вклад диффузионных и кинетических потоков.

Экспериментальная часть

В качестве объекта использовали дисковый образец диаметром 5,3 см, изготовленный из белого итальянского мрамора и порошкообразный объект с размером частиц 80–100 мкм квалификации ч.д.а. Для идентификации образцов проводили ИК-, КР- и рентгенофазовый анализ. Инфракрасный спектр кальцита имеет ряд характеристических частот в ИК области (ν, $см^{-1}$): 600, 713, 876, 1435, 1795, в КР-спектрах наблюдаем следующие пики (ν, $см^{-1}$): 92, 105, 112, 154, 281, 712, 1086.

Пространственная группа: R 3 c. Элементарная ячейка: гексагональная, центрированная ромбоэдрическая, которая соответствует ИК-спектрам.

Для исследования кинетики растворения в термостатируемый реактор, содержащий 1 л 0,7 М KCl и HCl концентрации (10^{-2}–10^{-5} М) помещали 0,001 моль порошкообразного кальцита. Эксперимент проводили при различных значениях pH (от 2 до 14) и числе оборотов вращения мешалки 10 об/с, при разных температурах в атмосфере азота 5,5 МПа. Анализ на содержание кальция проводили методом комплексонометрического титрования 0,05 М трилоном Б до устойчивого изменения окраски индикатора эриохрома Т черного с вишневой на синюю. После определения текущей концентрации ионов кальция (C_x) и предельной C_∞ рассчитывали долю растворенного кальцита: $\alpha = C_x / C_\infty$.

Для исследования влияния числа оборотов вращения диска (ω, об/с) на скорость растворения кальцита использовали стандартную электрохимическую установку с дисковым электродом.

Поверхность диска была отполирована 120, 320 и 400 зернистым карборундом. Периодически отбирали пробы фильтрата объемом 0,3 мл в интервале pH от 2 до 14 при 0–

10 об/с через 10–30 мин при 298, 306, 314, 320, 328, 335 K. Скорость растворения (W, моль·см$^{-2}$·с$^{-1}$) в этом случае рассчитывали по уравнению:

$$W = \frac{C}{S \cdot t}, \qquad (1)$$

где S – площадь поверхности образца, см^2.

Концентрацию ионов кальция (C, М), перешедших в раствор определяли по методике комплексонометрического титрования с 0,05 М трилоном Б.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные данные по растворению порошкообразного образца кальцита ($CaCO_3$) в координатах α—t, представлены на рис. 1.

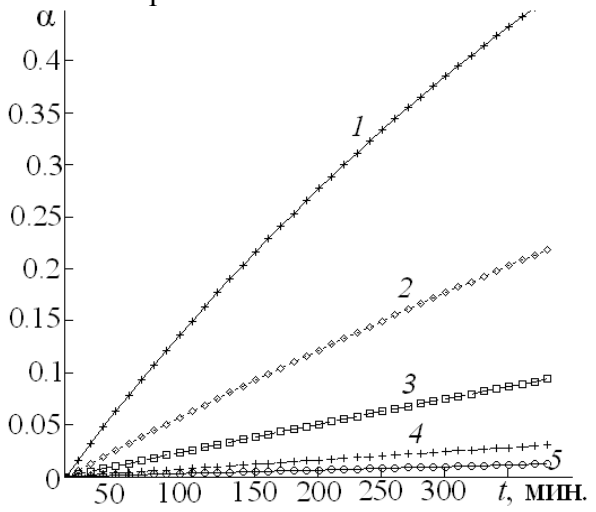


Рис. 1 – Зависимость α—t при растворении $CaCO_3$ в 0,7 М KCl, содержащем HCl (10 об/с и 298 K) и разных pH: *1* – 2,5; *2* – 3,0; *3* – 3,5; *4* – 4,0; *5* – 5,0. Точки – экспериментальные данные, линия – расчет по уравнению $\alpha = 1 - \exp(-Wt)$

С повышением концентрации кислоты (понижением pH) доля растворенного кальцита во времени увеличивается. Однако, неизвестно, с какой скоростью идет процесс.

Расчет постоянной скорости растворения порошкообразного кальцита (*W*). Для анализа экспериментальных данных, представленных на рис. 1, использовали разные уравнения (см. таблицу 1), применяемые в кинетике гетерогенных и диффузионных процессов [2, 5–6].

Таблица 1 – Уравнения, используемые для описания кинетических кривых растворения кальцита

Название уравнения	математическое выражение, W, с$^{-1}$	номер
Одномерная диффузия	$\alpha^2 = Wt$	(2)
Двумерная диффузия	$(1-\alpha)\ln(1-\alpha) + \alpha = Wt$	(3)
Трехмерная диффузия	$[1-(2\alpha/3)] - (1-\alpha)^{2/3} = Wt$	(4)
Гистлинга-Брауштейна	$[1-(2\alpha/3)] - (1-\alpha)^{2/3} = Wt$	(5)
Реакция первого порядка	$\alpha = 1 - \exp(-Wt)$	(6)
Модель Бартона-Странского	$\alpha = 1 - \exp(-A\mathrm{sh}(Wt))$	(7)

Для выбора уравнения применяли критерий Фишера и кинетические кривые перестраивали в координатах α—$t/t_{0.5}$ (рис. 2).

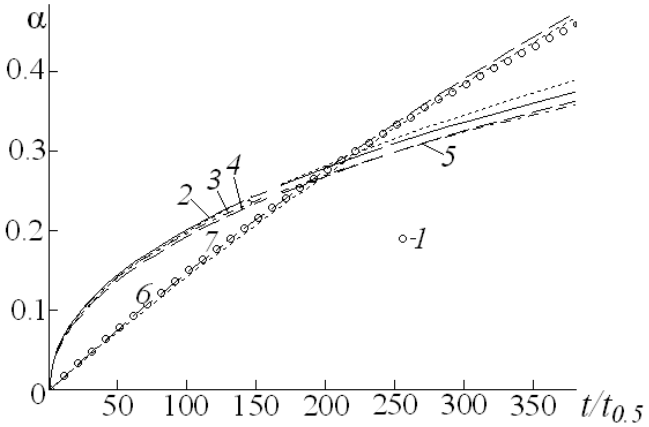


Рис. 2 – Зависимость α—$t/t_{0.5}$ при растворении $CaCO_3$ в 0,7 М KCl, содержащем HCl при 10 об/с, T = 298 K, pH = 2,5: *1* – экспериментальные данные, *2*—*7* – расчеты по уравнениям (2–7) соответственно

Из анализа данных рис. 2 следует, что экспериментальные точки совпадают с графическим изображением уравнения (6) таблицы 1, что позволяет расчет скорости растворения проводить по уравнению (6).

Скорость растворения имеет размерность $с^{-1}$ и может быть пересчитана в моль·$см^{-2}$·$с^{-1}$. Из литературных данных известно, что рассчитанная удельная скорость (W, $с^{-1}$) процесса растворения кальцита зависит как от кинетических, так и диффузионных затруднений [1, 5–6].

Кинетика взаимодействия кальцита определяется двумя составляющими: скоростью химической реакции перехода ионов кальция и карбонатных ионов в раствор (W_k) и скоростью диффузионного процесса отвода ионов в глубину раствора (W_d). Для выделения кинетических и диффузионных зависимостей изучали влияние оборотов вращения дискового образца на постоянную скорости растворения кальцита.

Влияние перемешивания на скорость растворения кальцита. Экспериментальные данные зависимости скорости растворения кальцита от числа оборотов вращения диска представлены на рис. 3.

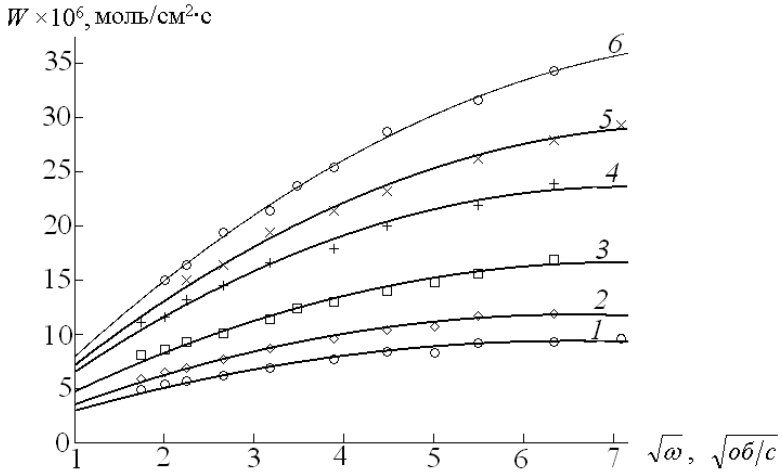


Рис. 3 – Зависимость скорости растворения кальцита, рассчитанной по уравнению (6) от корня квадратного из числа оборотов вращения дискового электрода при pH 8,4 в 0,7 М KCl при разных температурах (K): *1* – 298, *2* – 306, *3* – 314, *4* – 320, *5* – 328, *6* – 335

Используя уравнение Аррениуса, было рассчитано значение энергии активации при 298, 306, 314, 320, 328, 335 K, которое составило 30 кДж/моль. Низкое значение энергии активации подтверждает, что процесс растворения определяется диффузионными затруднениями. С ростом числа оборотов вращения доля кинетического вклада в расчет

энергии активации возрастает и энергия активации диффузионного процесса уменьшается (в частности при 4 об/с до 17 кДж/моль).

Для расчета скоростей кинетических и диффузионных процессов экспериментальные результаты перестраивали в координатах $1/W$ — $1/\sqrt{\omega}$. Кинетический вклад ($1/W_k$) определяли по оси ординат, а диффузионный ($1/W_d$), как тангенс угла наклона кривой.

Расчет коэффициентов диффузии (D, см^2/с) проводили графически, перестраивая экспериментальные данные, полученные при разных температурах в координатах W_d—$\sqrt{\omega}$ (рис. 4).

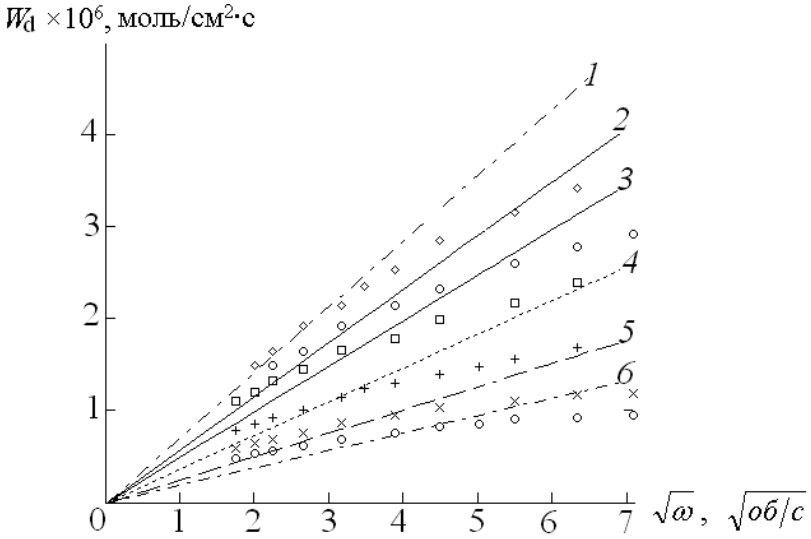


Рис. 4 – Зависимость диффузионной скорости растворения кальцита от корня квадратного из числа оборотов вращения дискового электрода при разных температурах (К): *1* – 335, *2* – 328, *3* – 320, *4* – 314, *5* – 306, *6* – 298. Линии – графическое изображение уравнения (9), точки – экспериментальные данные

Теоретическое описание экспериментальных данных проводили с использованием уравнения (9) [5–6]:

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{W_k} + \frac{1}{W_d} = \frac{1}{zFkc} + \frac{1{,}61 \cdot \nu^{1/6}}{zFcD^{2/3}} \frac{1}{\sqrt{\omega}} = a + b\frac{1}{\sqrt{\omega}}. \qquad (9)$$

где ν – кинематическая вязкость раствора, м^2/с, z – заряд иона; k – константа скорости процесса растворения кальцита, моль·см$^{-2}$·с$^{-1}$; F – число Фарадея; a и b – константы.

Уравнение (9) можно преобразовать для материального потока в уравнение (10):

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{W_k} + \frac{1}{W_d} = \frac{1}{kc} + \frac{1{,}61 \cdot \nu^{1/6}}{cD^{2/3}} \frac{1}{\sqrt{\omega}} = a + b\frac{1}{\sqrt{\omega}}. \qquad (10)$$

Коэффициенты диффузии ионов Ca^{2+}, рассчитанные по уравнению (10) приведены в таблице 2. Из анализа полученных данных таблицы 2 следует, что с ростом температуры значение коэффициента диффузии возрастает.

Таблица 2 – Значения коэффициентов диффузии ($D \times 10^6$, см^2·с$^{-1}$), вычисленных при разных температурах (T, К)

T, К	298	306	314	320	328	335
$D \times 10^6$, см^2·с$^{-1}$	1,3	2,0	3,5	5,5	7,0	9,5

Толщина неподвижного слоя зависит от скорости вращения диска. По мере увеличения скорости вращения диска диффузионный поверхностный слой становится тоньше (отклонение наблюдающихся значений от предсказываемых для случая контроля одним переносом увеличивается).

Заключение

Экспериментально установлено, что кинетика растворения кальцита имеет диффузионно-кинетический контроль, т.е. определяется двумя составляющими: скоростью химической реакции перехода ионов кальция и карбонатных ионов в раствор (W_k) и диффузионными процессами отвода ионов в глубину раствора (W_d) (10).

Лимитирующая стадия растворения кальцита определяется диффузией. Скорость кинетического процесса определяется адсорбцией ионов водорода. Установлено, что с ростом числа оборотов вращения диска доля кинетического вклада в расчет энергии активации возрастает.

Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы (контракт 3525582011).

Список литературы

1. *Соболев А.Е., Луцик В.И., Турковская О.В.* Кинетика взаимодействия карбоната кальция с растворами оксиэтилидендифосфоновой кислоты. Известия вузов. Химия и хим. технология, 2012. – Т. 55, № 1. – С. 42–46.
2. *Дельмон Б.* Кинетика гетерогенных реакций. – М.: Мир. 1972. – 555 с.
3. *Sjoberg E.L., Rickard D.T.* Calcite dissolution kinetics: Surface speciation and the origin of the variable pH dependence. // Chem. Geol., 1984. – V. 42. – P. 119–136.
4. *Plummer L.N., Parkhurst D.L., Wigley T.M.L.* Critical review of the kinetics of calcite dissolution and precipitation. In: E.A. Jenne (Editor), Chemical Modelling in Aqueous Systems. // Am. Chem. Soc., Symp. Ser., 1979. – V. 93. – P. 537–573.
5. *Плесков Ю.В., Филиновский В.Ю.* Вращающийся дисковый электрод. – М.: Наука, 1972. – 344 с.
6. *Тарасевич М.Р., Хрущева Е.И., Филиновский В.Ю.* Вращающийся дисковый электрод с кольцом. – М.: Наука. 1987. – 248 с.

02.00.04

[1]С.Г. Буршнева, [2]О.Б. Кузнецова к.х.н., [3]Н.В. Смирнова

[1]ФГБУК «ВХНРЦ им. академика И.Э. Грабаря»,
Вологодский филиал, burshneva@yandex.ru
[2]ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный педагогический университет»,
естественно-географический факультет, кафедра химии, kuz.ob@mail.ru
[3]ФГБУК «ВХНРЦ им. академика И.Э. Грабаря»,
Вологодский филиал, natasha-s@bk.ru

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДМЕТОВ В РАСТВОРЕ ЩЕЛОЧНОГО СУЛЬФИТА

Ультразвук необходимо применять при реставрации железных археологических предметов, чтобы устранить недостатки стабилизирующей обработки в растворе щелочного сульфита. Ультразвуковой капиллярный эффект ускоряет удаление хлорид анионов и повышает полноту их удаления. Применение ультразвука в десятки раз повышает эффективность стабилизирующей обработки и сохранность экспонатов.

Ключевые слова: *Коррозия, реставрация, археологическое железо, ультразвуковой капиллярный эффект*.

Наиболее острой, нерешенной на сегодняшний день, проблемой музейного хранения является сохранность археологических экспонатов выполненных из железа. В отличие от других металлов, находимых при археологических раскопках, железо, являясь термодинамически нестабильным, в большей степени подвержено самопроизвольному разрушению – коррозии.

Анализ литературных данных [1,2] показывает, что основной причиной активизации процессов разрушения железных археологических предметов является наличие соединений хлора в продуктах коррозии, образующих минеральную корку. Нами были исследованы структуры минеральных корок различных археологических экспонатов с помощью сканирующего электронного микроскопа CAMSCAN-4D, полупроводникового спектрометра LINK AN-10000 и последовательного спектрометра MICROSPEC.

В ходе исследования было установлено, что общую структуру минеральной корки, образующейся на археологических предметах в почве нельзя назвать равномерной и упорядоченной. Области повышенного содержания хлорид анионов расположены на границе металл-минеральная корка и в зонах, образованных оксигидратами железа. Хотя наличие хлора в зонах магнетита не выявлено, что свидетельствует о высоких защитных свойствах данного соединения, он не образует равномерного слоя, полностью покрывающего предмет.

Хлорид-анионы могут попасть к поверхности металла только при наличии трещин в минеральной корке или на участках, не покрытых магнетитом [3]. Оба пути вероятны. Установлено, что хлорид-анионы попадая в минеральную корку продуктов коррозии, мигрируют к поверхности металла за счет локальных токов.

На границе металл-минеральная корка или в полости локального разрушения хлорид анионы могут присутствовать в продуктах коррозии железа в виде хлорида железа (II). В работе [4] указано, что относительная влажность 18% - критическая для активации процессов коррозии с участием хлорид-анионов. Автор связывает это с переходом дигидрата хлорида железа (II) ($FeCl_2 \cdot 2H_2O$) в тетрагидрат ($FeCl_2 \cdot 4H_2O$). Хлорид железа (II) $FeCl_2$ является типичным восстановителем, поэтому легко окисляется кислородом до соединений железа (III). Поэтому в присутствии кислорода воздуха возможно образование хлорида железа (III) $FeCl_3$. Являясь гигроскопичным соединением, хлорид железа (III) $FeCl_3 \cdot nH_2O$ способен увеличивать количество молекул воды в кристаллогидрате при повышении

влажности. В работе [5] установлено, что при n ≥ 3 происходит образование рентгеноаморфной фазы близкой к оксигидрату железа (III) – акаганиту β–FeOOH. Далее авторами отмечается, что фаза β–FeOOH регистрировалась ими на внешней поверхности и сколах структурных пакетов. Это свидетельствует об участии кислорода воздуха в его образовании.

Оксигидраты железа (III) являются основными соединениями, образующими минеральную корку на археологических предметах. В работе [6] автор приводит результаты рентгеноструктурного анализа продуктов коррозии нескольких мечей (V в.): α-FeOOH 25-50 %; γ-FeOOH 5-20 %; β -FeOOH 5-15 %; Fe_3O_4 1-10 %; аморфные гидроксиды железа менее 5 %.

Кристаллические структуры оксигидратов железа (III) различаются между собой. Только в структуре β–FeOOH имеются туннели параллельные оси «с», в которых могут удерживаться анионы хлора и вода. В работе [7] автор установил, что вымывание хлорид-анионов из структуры β–FeOOH происходит при pH>7. Этот процесс продолжается до тех пор, пока содержание хлорид-анионов в твердой фазе не достигнет 2-3%. Дальнейшее вымывание происходит очень медленно и возможно только при фазовых преобразованиях.

Нами установлено и экспериментально доказано, что применение ультразвука позволяет полностью удалить хлорид-ион. По нашему мнению, данный эффект основан на свойстве ультразвука аномально увеличивать (в десятки раз) скорость движения и высоты подъема жидкости в капиллярах при непосредственном воздействии ультразвука и возрастании их с повышением температуры [8].

Стабилизация железных археологических предметов возможна при условии максимального удаления хлорид-анионов из предмета. Для этого необходимо обеспечить проникновение рабочего раствора на всю глубину минеральной корки до металлического ядра.

В 1975 г. австралийскими реставраторами Н.А. Нортом и С. Пирсоном предложена обработка археологических экспонатов из железа в растворе щелочного сульфита[9]. Суть метода заключается в том, что предмет помещают в герметично закрывающийся сосуд с раствором щелочного сульфита (c(NaOH)=0,5 моль/л; $c(Na_2SO_3)$=0,5 моль/л). Продолжительность обработки зависит от степени сохранности памятника и в среднем может составлять несколько месяцев.

Изучение физико-химических процессов стабилизации археологических предметов из железа в растворе щелочного сульфита выявило 2 существенных недостатка этого метода: длительность обработки и опасность неполного удаления хлорид-анионов на границе металл–минеральная корка [10,11]. Это приводит к возобновлению коррозии при дальнейшем хранении экспонатов.

С целью устранения недостатков стабилизирующая обработка железных предметов в растворе щелочного сульфита была дополнена обработкой в ультразвуковом поле.

В растворе щелочного сульфита можно обрабатывать как одиночные предметы, так и небольшие группы предметов. В работе использовалась ультразвуковая ванна УЗВ 1.1. производства ООО «Александра - плюс», г. Вологда. Для проверки степени экстракции хлоридов применялись ион-селективный электрод (Cl^-) и тестирование во влажной камере в течение трех суток.

Сравнительная характеристика методов обработки в растворе щелочного сульфита без применения и с применением ультразвука:

1. Время обработки в растворе щелочного сульфита без ультразвука – 2920 час (4 месяца);
2. Время обработки в растворе щелочного сульфита с применением ультразвука – 13 часов.

Время обработки сократилось в 225 раз.

Ю.Л. Крецер (кандидат геолого-минералогических наук, лаборатория микроанализа Института Радия, Санкт-Петербург) на сканирующем электронном микроскопе CamScan 4D

и последовательном спектрометре Microspec-3DW определил содержание хлорид-ионов в образцах до ультразвуковой обработки в растворе щелочного сульфита и после.

Spectrum	***Cl до обработки***	***Cl после обработки***
Spectrum 1	0,00	0,00
Spectrum 2	0,00	0,00
Spectrum 3	4,26	0,00
Spectrum 4	4,45	0,00
Spectrum 5	4,02	0,00
Spectrum 6	4,34	0,00
Spectrum 7	0,21	0,00
Spectrum 8	0,00	0,00
Spectrum 9	4,48	0,00
Mean	**4,02**	**0,00**

Рис. 1. Содержание хлорид-анионов в образце перед стабилизирующей обработкой и после стабилизирующей обработки в щелочном сульфите с применением ультразвука

Хлорид-анионы в минеральной корке и на границе металл - минеральная корка после стабилизирующей обработки в растворе щелочного сульфита с приложением ультразвука не обнаружены (рис.1).

Следует отметить, что применение ультразвука при стабилизации железных археологических предметов в растворе щелочного сульфита не приводит к их разрушению.

Авторы надеются, что предложенный метод применения ультразвуковой обработки при использовании раствора щелочного сульфита будет способствовать сохранению тысяч экспонатов, находящихся в музеях России.

Список литературы

1. *Колотыркин Я.М.* Металл и коррозия. – М.: Металлургия, 1985. – 88 с.
2. *Кеше Г.* Коррозия металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 400 с.
3. *Колотыркин Я.М.* Современное состояние теории электрохимической коррозии. // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. – 1971. – Т. 16, № 6. – С. 627-633.
4. *Turgoose S.* Post-excavation changes in iron antiquities // Studies in Conservation. – 1982. – № 27. – P. 97-101.
5. *Залуцкий А.А. Бабанин В.Ф., Васильев С.В., и др*. Мёссбауэровские исследования соединений железа с системе $FeCl_3$ – $FeCl_3 \cdot nH_2O$ – глинистый минерал // Химия и химическая технология. – 2003. – Т. 46. Вып.9. – С. 43-48.
6. *Kaneko K.* Surface chemistry of FeOOH microcrystals // Current problems in Conservation of Metal Antiquities. – Tokyo, 1993. – P. 55-67.
7. *North N. A.* Corrosion products on marine iron // Studies in Conservation. – 1982. – № 27. – P. 75-83.
8. Государственный реестр открытий СССР. Ультразвуковой капиллярный эффект. Е.Г. Коновалов. № 109 с приоритетом от 31 мая 1961г.
9. *North N.A., Pearson C.* Alkaline Sulfite Reduction Treatment of Marine Iron // ICOM-CC, 4th Triennial Meeting. Venice, 13/3, 1975. – С.1-14.
10. *Смирнова Н.В.* Физико-химические характеристики метода обработки археологических экспонатов, выполненных из железа, в растворе щелочного сульфита // Грабаревские чтения VII: междунар. научн. конф. (Москва, 22-24 окт. 2008 г.) – М. 2010. – С. 419-426.
11. *Буршнева С.Г., Кузнецова О.Б., Смирнова Н.В.* Исследование и тестирование метода стабилизации железных археологических предметов с применением ультразвука // Проблемы реставрации памятников культуры и искусства: материалы III рег. научно-практич. конф., посвящ. 15-летию Эрмитажной школы реставрации (Екатеринбург, 12-15 нояб. 2012 г.). – Екатеринбург , 2012. – С. 139-146.

02.00.13

Н.В. Верещагина, Т.Н. Антонова, И.Г. Абрамов, Г.Ю. Копушкина

Ярославский государственный технический университет,
химико-технологический факультет, кафедра общей и физической химии,
Ярославль, antonovatn@ystu.ru

ОКИСЛЕНИЕ ДИЦИКЛОПЕНТЕНА ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ЭПОКСИДА В УСЛОВИЯХ МЕЖФАЗНОГО КАТАЛИЗА

Изучен процесс окисления дициклопентена пероксидом водорода в условиях межфазного катализа. Обоснован выбор каталитической системы, использование которой обеспечивает образование эпоксида дициклопентена с высоким выходом. Предложены условия получения эпоксида дициклопентена, удобные для практической реализации.

Ключевые слова: *дициклопентадиен, дициклопентен, окисление пероксидом водорода, эпоксиды циклоолефинов, эпоксид дициклопентена*.

В настоящее время в рамках комплексной программы рационального использования нефтяных ресурсов реализована переработка C_5 фракции пиролиза бензина с целью выделения и очистки циклопентадиена в виде его димерной формы – дициклопентадиена. В результате «нефтехимический» дициклопентадиен становится доступным сырьем для последующего превращения в ценные потребительские продукты [1].

Нами разрабатывается оригинальное направление использования дициклопентадиена с целью получения ряда его кислородсодержащих производных: спиртов, диолов, моно- и дикетонов каркасной структуры, алициклических дикарбоновых кислот [2]. Указанные соединения представляют интерес для полимерной химии, могут быть использованы в фармацевтическом синтезе (иммуномодуляторы) и при получении жидкокристаллических материалов.

Эффективность разрабатываемого направления определяется возможностью селективного гидрирования дициклопентадиена (трицикло-[5.2.1.$0^{2.6}$]декадиен) в дициклопентен (трицикло-[5.2.1.$0^{2.6}$]децен-3) [3, 4], а ключевым соединением в синтезе индивидуальных кислородсодержащих продуктов различной функциональности является эпоксид дициклопентена (9-оксатетрацикло[5.3.1.$0^{2.6}$.$0^{8.10}$]ундекан).

Целью настоящей работы является оценка возможности получения эпоксида дициклопентена в сопоставлении с эпоксидами циклоолефинов иной структуры, при использовании в качестве окисляющего агента пероксида водорода в виде его водного раствора в условиях межфазного катализа.

Применение в качестве окислителя пероксида водорода является перспективным методом функционализации органических соединений самой различной структуры. Этому немало способствуют не только мягкие условия проведения процесса, но и его экологическая безопасность [5 – 9].

С целью выбора катализатора окисления циклоолефинов предварительно был изучен процесс термического распада пероксида водорода с выделением активного кислорода в присутствии как натриевых, так и аммониевых солей молибденовой, вольфрамовой, фосфорновольфрамовой и ванадиевой кислот. В присутствии натриевых солей указанных кислот степень превращения пероксида водорода достигает 73 – 100 %. Аммониевые соли в рассмотренных условиях практически не оказывают каталитического действия (таблица 1).

Таблица 1 – Степень превращения пероксида водорода в процессе его термического разложения в зависимости от природы катализатора
C_0 – 6.0 моль/л , $C_{кат.}$ – 0.03 моль/л, температура 343 К

Катализатор	pH исходного раствора	Время реакции, мин.	Степень превращения H_2O_2, %
Без катализатора	1.91	60	0
Фосфорновольфрамат аммония	2.29	60	2.5
Вольфрамат аммония	1.50 8.00*	60 60	7.0 90.0
Молибдат аммония	2.34	60	8.0
Ванадат аммония	2.64	60	40.0
NaOH	7.85	60	8.0
Ванадат натрия	7.00	60	73.0
Фосфорновольфрамат натрия	1.72	60	94.0
Вольфрамат натрия	5.70	45	100.0
Молибдат натрия	6.88	18	100.0

*- в присутствии NaOH

Установленный факт может быть объяснен тем, что при введении солей, используемых в качестве катализаторов, изменяется значение pH водного раствора пероксида водорода. Однако, при введении аммониевых солей это изменение не столь значительно (от 1.91 до 2.64), как это имеет место в случае введения натриевых солей, что является естественным, поскольку разлагаемый водный раствор пероксида водорода имеет кислую реакцию среды (таблица 1).

Вольфрамат аммония, обеспечивающий pH среды 1,5, становится катализатором разложения лишь в результате введения добавки водного раствора NaOH, увеличивающей pH среды до 8. Степень превращения H_2O_2 повышается с 7 до 90 %. Таким образом, для обеспечения высокой эффективности разложения пероксида водорода этот процесс необходимо проводить при pH среды близкой к нейтральной, что становится возможным при использовании натриевых солей указанных выше кислот.

Каталитическую активность в составе натриевых солей проявляют анионы, эффективность каталитического действия которых убывает в ряду:

$$MoO_4^{2-} > WO_4^{2-} > [P(W_3O_{10})_4]^{3-} > VO_4^{3-}$$

Установленные закономерности и сведения, имеющиеся в литературе [10], позволяют представить механизм разложения пероксида водорода в присутствии используемых натриевых солей, в частности, вольфрамата натрия, следующей схемой:

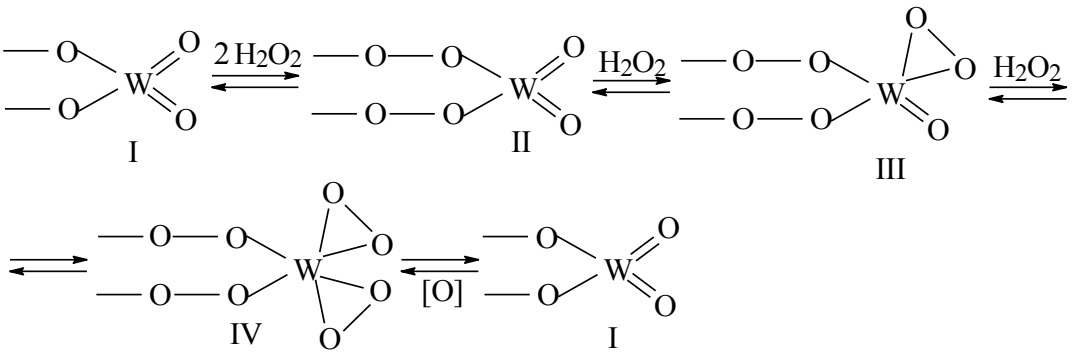


Схема 1 – Превращения вольфраматаниона в процессе разложения H_2O_2

Необходимо отметить, что среди перечисленных выше катализаторов разложение пероксида водорода, лишь вольфрамат и фосфорновольфрамат натрия катализируют процесс окисления циклоолефинов. Анионы этих солей в процессе разложения пероксида водорода образуют, по-видимому, достаточно стабильные пероксоанионы, которые могут выполнять роль переносчика активного кислорода к молекуле окисляемого соединения.

Как следует из данных, представленных в таблице 2, в присутствии этих катализаторов пероксид водорода, взятый в виде водного раствора, является эффективным окисляющим агентом в процессе получения эпоксидов циклоолефинов. Степень превращения исходного циклоолефина (дициклопентена и циклооктена), в зависимости от условий окисления, достигает 91 % при селективности образования целевого продукта 97 – 98 %.

Таблица 2 – Влияние ряда факторов на количественные показатели процесса окисления циклоолефинов пероксидом водорода в условиях межфазного катализа

Катализатор окисления Na_2WO_4, продолжительность реакции 180 минут, $C_{0\ ол}$ – 0.6 моль/л, растворитель – толуол, дозированная подача H_2O_2, молярное отношение H_2O_2 : циклоолефин 2.0 : 1.0

Температура, K	Концентрация катализатора, моль/л	Скорость подачи H_2O_2, 10^2 мин$^{-1}$	Степень превращения олефина, %	Выход эпоксида, мол. %
Дициклопентен				
358	0.03	3.40	47.2	97.1
358	0.06	1.10	57.0	97.3
368	0.03*	1.10	81.3	98.5
368	0.03**	1.10	90.5	98.9
368	0.03***	1.10	91.3	98.5
цис-Циклооктен				
358	0.03***	1.10	90.6	98.7

* – растворитель *м*-ксилол, трилон Б

** –адоген, трилон Б

*** – катализатор окисления $Na_2H_5[P(W_3O_{10})_4]$, адоген

Достижению высокого выхода эпоксида при окислении циклоолефинов, в частности, дициклопентена, в присутствии вольфрамата натрия способствуют добавки трилона Б, а также адогена – катализатора межфазного переноса. Замена вольфрамата натрия, как катализатора, на фосфорновольфрамат, не требует использования трилона Б для получения высоких выходов целевого эпоксида дициклопентена.

Таким образом, каталитическое окисление дициклопентена пероксидом водорода в условиях межфазного катализа является эффективным способом получения его эпоксида.

Список литературы

1. *Вострикова В.Н., Черных С.П., Григорьев А.А.* Нефтехимические циклопентадиен и дициклопентадиен – перспективное сырье для органического синтеза. М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1984. 61 с.
2. *Антонова Т.Н., Абрамов И.А., Панченко А.В., Виноградова А.Г.* Новое направление превращения дициклопентена в кислородсодержащие соединения различной структуры // Тез. докл. XVIII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. М.: Граница, 2007. С. 295.
3. *Антонова Т.Н., Абрамов И.А., Фельдблюм В.Ш. и др.* // Нефтехимия. 2009. Т.49., №5. С. 386 – 389.
4. Способ получения дициклопентена (трицикло-[5.2.1.$0^{2.6}$]децена-3): пат. 2459793 Рос. Федерация. № 2011128499/04; заявл. 08.07.2011; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24. 5 с.
5. *Шамб У., Сеттерфильд Ч., Вентворс Р.* Перекись водорода. М.: Иностранная литература, 1958. 578 с.
6. *Анисимов А.В., Тараканова А.В.* // Нефтехимия. 1999. Т.39. №3. С. 163 – 181.
7. *Довганюк Т.В., Беренцвейг В.В., Караханов Э.А. и др.* // Нефтехимия. 1990. Т.30. №5. С. 602 – 608.
8. *Улендеева А.Д., Никитина Т.С., Баева Л.А. и др.* // Нефтехимия. 2000. Т.40. №4. С. 307 – 310.
9. *Улендеева А.Д., Никитина Т.С., Баева Л.А. и др.* // Нефтехимия. 2000. Т.40, №5. С. 389 – 392.
10. *Антонова Т.Н., Ильин А.А., Артемьева Н.В., Куницкий А.А. и др.* // Нефтехимия. 2003. Т. 43, № 6. С. 459.

02.00.04

Е.Б. Годунов

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ),
экологический факультет, кафедра «Химия металлов»,
Москва, gen225@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РАСТВОРЕНИЯ ОКСИДОВ МАРГАНЦА В РАСТВОРАХ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ

Приведены результаты кинетических исследований растворения оксидов марганца в растворах серной кислоты высоких концентраций ([H_2SO_4] > 5 моль/л). Предложено эмпирическое уравнение, описывающее зависимость скорости процесса от ряда параметров и показывающее, что скорость процесса определяется величиной потенциала (Е), значением температуры и концентрацией ионов водорода в растворе.

Ключевые слова: *кинетика растворения, оксиды марганца, серная кислота, электрохимические параметры, электродный потенциал.*

Объяснение кинетических закономерностей взаимодействия оксидов марганца с концентрированными растворами серной кислоты требует детальной информации о факторах, влияющих на скорость процесса [1–2]. В настоящее время не известна природа лимитирующей стадии и механизм процесса растворения оксидов марганца в растворах серной кислоты.

Цель работы – изучить особенности растворения оксидов марганца (MnO, Mn_3O_4, Mn_2O_3, MnO_2) в растворах серной кислоты (5…34 моль/л) и выявить влияние концентрации серной кислоты на кинетические закономерности.

Экспериментальная часть

Методика кинетических, электрохимических исследований и методика проведения определения суммарной концентрации ионов Mn^{2+} в пробе описаны в работе [3].

Количественное описание кинетических процессов растворения и расчета удельной скорости растворения проводили с использованием уравнения [4]:

$$-\ln(1-\alpha) = A\mathrm{sh}(W\tau), \qquad (1)$$

где A – константа, пропорциональная среднему числу активных центров (числу дефектов кристаллической решетки) на поверхности одной частицы оксида. Адекватность математических моделей доказывалась с использованием критерия Фишера.

Результаты и их обсуждение

Изучена зависимость удельной скорости растворения оксидов марганца от концентрации серной кислоты (при T = 293 K и ω = 600 мин$^{-1}$). В логарифмической форме результаты представлены на рис. 1 из которого видно, что удельная скорость растворения оксидов марганца растет с увеличением концентрации серной кислоты.

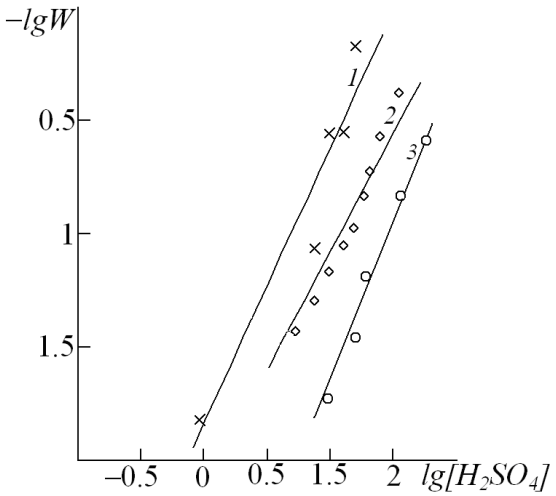


Рис. 1 – Зависимость логарифма удельной скорости растворения оксидов марганца lg$W$ от логарифма концентрации серной кислоты lg[H_2SO_4] для оксидов марганца: *1* – MnO, *2* – Mn_2O_3, *3* – Mn_3O_4

Используя зависимость lg$W$—lg[H_2SO_4] нами рассчитаны порядки реакции по серной кислоте в концентрированных растворах, которые составили для Mn_2O_3 – +1.5 и MnO – +1.4.

Энергия активации, рассчитывалась при разных температурах (298 K, 313 K, 353 K) и [H_2SO_4] = 5 моль/л по уравнению Аррениуса:

$$\ln k = \ln A - (E_a / RT), \quad (2)$$

где A – предэкспоненциальный множитель; R – универсальная газовая постоянная; T – температура, K; E_a – энергия активации, кДж/моль; k – константа скорости растворения, мин$^{-1}$.

Энергию активации, рассчитывали по уравнению (2), в исследуемом диапазоне концентраций для оксидов марганца составила 70±2 кДж/моль.

Порядок реакции по ионам водорода для оксидов марганца, рассчитанный с использованием функции Гаммета (H_0) [5], составил +0.5±0.1. Зависимость lg$W$—lg[H_2SO_4] можно представить в виде уравнения: $W = W^0[H_2SO_4]^{+1.4}$.

Для выяснения механизма реакций и природы лимитирующей стадии растворения использовали электрохимические методы. Были исследованы процессы катодного растворения на оксиде марганца (IV), нанесенном на платиновый электрод. Результаты изучения зависимости катодного тока электрохимического процесса восстановительного растворения MnO_2 в серной кислоте от потенциала поляризации при разной величине pH раствора представлены на рис. 2.

Из анализа данных рис. 2 следует, что при катодном растворении наблюдается два пика восстановления $Mn^{IV}O_2 \rightarrow Mn^{III}OOH \rightarrow Mn^{II}(OH)_2$. Удельная скорость растворения определяется катодным процессом, так как удельная скорость растворения определяется величиной тока первого пика [6]. Зависимость скорости катодного процесса от потенциала (E_i) в области первого пика растворения для MnO_2 определяется уравнением Вермилиа (см. рис. 2) [6]:

$$I = \frac{I_{max}}{\exp\left(\frac{z\beta_1 F\eta}{RT}\right) + \exp\left(-\frac{z\beta_2 F\eta}{RT}\right)}, \quad (3)$$

где

$$I_{max} = k \cdot [H^+]^n \cdot \exp\left[-\frac{(1-\beta_0)z_+}{RT} \cdot E_{max}\right], \quad (4)$$

где E_{max} – потенциал максимальной скорости растворения (зависит от величины pH раствора), В; I_{max} – сила тока, зависящая от величины pH раствора, А; β_0, β_1, β_2, –

коэффициент переноса; z – количество электронов, которые принимают участие в реакции растворения по ионам H^+; F – число Фарадея; $[H^+]$ – концентрация ионов водорода, моль/л; η – перенапряжение; n – порядок реакции по ионам водорода, равный +1.0±0.1.

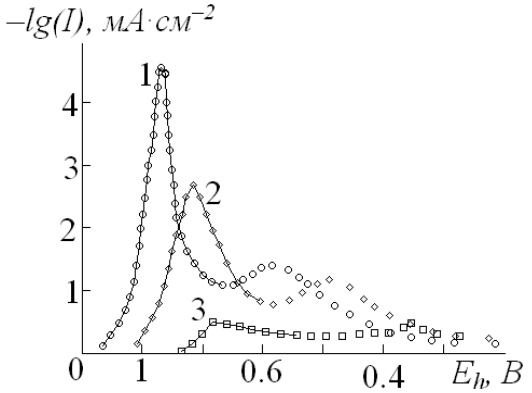


Рис. 2– Зависимость логарифма катодного тока lg(*I*) растворения MnO_2 в H_2SO_4 от потенциала поляризации (E_h) при разных значениях величины pH раствора: 1.01 (*1*), 2.02 (*2*), 3.01 (*3*). Точки – экспериментальные данные, линии – решение уравнения (3)

Из рис. 2 следует, что между экспериментальными данными и теоретическим уравнением (3) имеется соответствие. Сдвиг значения потенциала, согласно уравнению (3), в катодную область должен приводить к увеличению скорости катодного процесса растворения.

Экспериментальный порядок реакции по ионам водорода при постоянном значении потенциала в уравнении (4) составляет +1.0±0.2, то есть имеет положительное значение.

Моделирование механизма процесса растворения оксидов марганца в сернокислых растворах было проведено на основании данных экспериментальных исследований влияния разных факторов на кинетику растворения оксидов марганца. Эмпирическое уравнение зависимости удельной скорости растворения оксидов марганца от концентрации серной кислоты (больше 5 моль/л), учитывающее эффективную энергию активации, электрохимические параметры, концентрацию ионов водорода и сульфат-ионов имеет вид (5) и позволяет производить расчет удельной скорости растворения:

$$W = k\left[\frac{[H^+]}{[H^+]+K_1}\right]\left[\frac{[SO_4^{2-}]}{[SO_4^{2-}]+K_2}\right]\exp\left(\frac{(1-\beta)Fz}{RT}\right)\exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (5)$$

где $[SO_4^{2-}]$ – концентрация сульфат-ионов, моль/л; K_1, K_2 – величины, обратные константам равновесия при адсорбции ионов H^+ и анионов.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в работе получены следующие результаты.

1. На основе экспериментальных данных зависимости удельной скорости растворения найдены порядки реакции растворения по ионам водорода в концентрированной серной кислоте $n_{H^+} = +0.5 \pm 0.1$.

2. На основе системного анализа предложено эмпирическое уравнение для расчета удельной скорости растворения.

3. Процесс растворения оксидов марганца лимитируется кинетикой перехода ионов водорода из раствора серной кислоты в объем твердой фазы.

4. Увеличение скорости растворения оксидов марганца можно достичь, смещая потенциал в катодную область, то есть используя восстановители.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственной программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013гг» (контракт 14.740.11.1095) и аналитической ведомственной целевой программы (заявка 352582011).

Список литературы

1. *Ашхаруа Ф.Г., Горичев И.Г.* Кинетика растворения окиси марганца в серной кислоте. // ЖПХ, 1976. – Т. 49, № 2. – С. 318–322.
2. *Diggle. J.W.* Oxides and Oxide Filme. – V. 1–6. N.-Y.: Marcel Dekker, 1973. – 231 p.
3. *Godunov E.B., Artamonova I.V., Gorichev I.G., Lainer Y.A.* Influence of oxalic acid on the dissolution kinetics of manganese oxide. // Russian metallurgy (Metally), 2012. – № 11. – P. 935–941.
4. *Дельмон Б.* Кинетика гетерогенных реакций. М.: Мир, 1972. – 554 с.
5. *Гаммет Л.* Основы физической органической химии. Скорости, равновесия и механизмы реакций. М.: Мир, 1972. – 534 с.
6. *Herring A.P., Ravitz S.F.* Rate of Dissolution of Manganese Dioxide in Sulfurous Acid. // Trans. Soc. Min. Eng., 1965. – V. 232, №1. – P. 191.

02.00.03

О.В. Доброхотов, Д.В. Луференко, И.Г. Абрамов д.х.н.

Ярославский государственный технический университет,
Химико-технологический факультет, кафедра «Общая и физическая химия»,
Ярославль, dobrohotovov@gmail.com

МОНОМЕРЫ АВ-ТИПА, СОДЕРЖАЩИЕ ДИАЗОМОСТИК

Данная работа посвящена новому методу синтеза 4-(аминофенилазо)фталевых кислот – мономеров АВ-типа для полиэфиримидов. В работе рассмотрены проблемы синтеза промежуточных арилазофталонитрилов и описаны способы их решения. Описана реакция получения целевых аминофталевых кислот.

Ключевые слова: *мономеры для поликонденсации, 4-аминофталонитрил, диазотирование, азосочетание.*

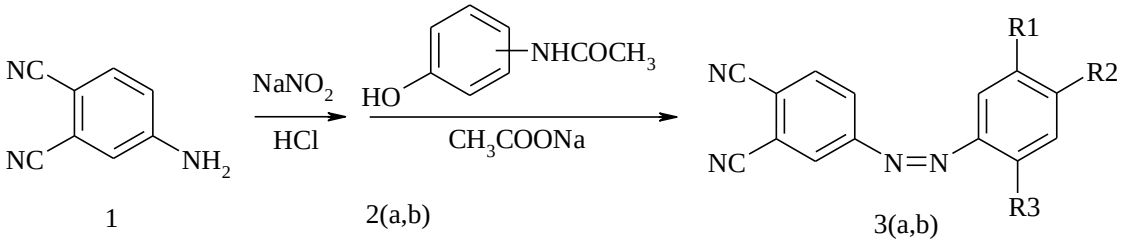
Одним из значимых классов полимеров являются ароматические полиимиды (ПИ), которые обладают уникальным сочетанием свойств [1]. Сохранение высоких физико-механических и эксплуатационных характеристик в широком диапазоне температур от криогенных до 250-300^{o}C и термостойкость на уровне 400-450 ^{o}C, является их безусловным достоинством. Кроме того, ПИ обладают огнестойкостью, химической стойкостью, устойчивостью к радиационному и УФ-облучению, и рядом других полезных свойств. Наличие этих свойств у ПИ обусловлено присутствием в полимерной цепи сопряженных гетероароматических фрагментов, а жесткость цепи и сильное межмолекулярное взаимодействие усиливают эти качества [2].

В данной работе нами рассматривается двухстадийный метод синтеза 4-(аминофенилазо)фталевых кислот – мономеров АВ-типа, которые могут быть использованы для получения полиимидов с высокими эксплуатационными характеристиками.

В качестве исходного субстрата нами был выбран хорошо изученный, реакционно способный 4-аминофталонитрил, полученный по методике, описанной в работе [3]. Активность данного соединения в реакции диазотирования сопоставима с *n*-нитроанилином, однако цианогруппы обладают большей лабильностью по сравнению с нитрогруппой, поэтому методики, описанные для нитроанилина, не подходят для 4-аминофталонитрила. Для снятия этого ограничения нами был разработан способ получения солей 3,4-дицианобензолдиазония в более мягких условиях.

Для проведения реакции диазотирования *n*-нитроанилина обычно в качестве растворителя используют концентрированную соляную кислоту, однако цианогруппы фталонитрила подвергаются гидролизу в этих условиях, поэтому использование её в качестве растворителя не представляется возможным. В тоже время, образующийся 3,4-дицианобензолдиазоний, из-за сильного акцепторного влияния двух цианогрупп не устойчив в водной среде, так как способен вступать в реакцию активированного нуклеофильного ароматического замещения (S_NAr-реакция) с водой, которая является в данном случае нуклеофилом. Для подавления этой реакции при диазотировании используют сильно кислую среду, так как при этом молекулы воды протонируются и их нуклеофильность сильно снижается. Однако по причинам, описанным выше использование концентрированной кислоты не возможно. Поэтому нами были выбраны такие условия проведения реакции, при которых скорости гидролиза цианогрупп и нуклеофильного замещения диазогруппы достаточно низки. Использование суспензии 4-аминофталонитрила в разбавленном растворе соляной кислоты и дополнительное понижение температуры ренкции до -10..-5^{o}C позволило нам значительно снизить скорость указанных побочных реакций.

С целью получения мономеров АВ-типа, содержащих диазомостик в качестве азокомпонент применялись N-ацетиламидофенолы. Реакция проводилась в условиях способствующих образованию феноксид ионов – в среде ацетатного буфера.



1 2(a,b) 3(a,b)

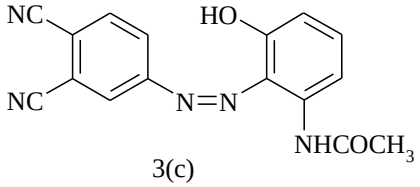
a 3-$NHCOCH_3$ b 4-$NHCOCH_3$

a R1=$NHCOCH_3$; R_2=H; R_3=OH

b R1=H; R2=OH; R3=$NHCOCH_3$

Рис. 1 – Схема синтеза арилазофталонитрилов

В классических реакциях азосочетание идет в *п*-положение (по отношению к электронодонорной группе – в данном случае гидроксигруппе) или в *о*-положение, если водород в *п*-положении замещен или имеются стерические затруднения из-за присутствия других заместителей в *м*-положении. Как и ожидалось в случае с N-(4-гидроксифенил)ацетамидом (2b) реакция идет в *о*-положение к гидроксигруппе. В то время как при азосочетании с N-(3-гидроксифенил)ацетамидом (2a) реакция протекает в *п*-положение к гидроксигруппе. Это было установлено на основе анализа ^{1}H ЯМР спектра продукта. В ЯМР спектре соединения наблюдаются синглеты протонов CH_3, NH групп в области 2.2 м.д., 10.2 м.д. соответственно, а также уширенный синглет и OH группы в области 10.9 м.д. В спектре отсутствуют триплеты, что свидетельствует о том, что в нашем случае не образуется соединение 3c (Рис. 2).



3(c)

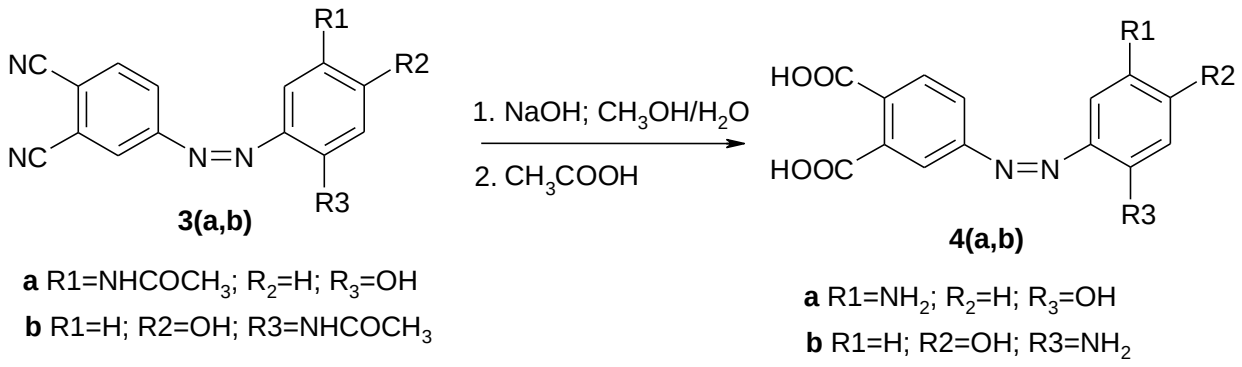
Рис. 2 – Структура соединения 3c

Набор сигналов, зафиксированный в области 6.5-9 м.д. и соответствующий ароматическим протонам, может присутствовать в обоих продуктах (*о*- и *п*-замещения). Однако наличие дублет дублетов в области 6.6 м.д. свидетельствует о протекании реакции именно в *п*-положение, так как сигнал смещен в сильнопольную область, что обусловлено донорным влиянием гидроксигруппы.

Кроме того, для уменьшения потерь образовавшегося диазофталонитрила в результате побочных реакций, раствор диазокомпоненты прибавляли к раствору азокомпоненты. Таким образом, диазофталонитрил оказывался в избытке реагента, и расходование субстрата на гидролиз и другие побочные реакции сводилось к минимуму.

Образующийся целевой продукт растворим в щелочной среде, поэтому с целью увеличения выхода после реакции реакционная смесь подкислялась до слабокислой среды. В данных условиях целевой продукт образовывал темно-красный осадок.

Выделенные продукты без дополнительной очистки направлялись на стадию гидролиза, с целью получения соответствующих замещённых фталевых кислот (Рис. 3), проводимого по методикам описанным в работах [2,4]. При проведении реакции по представленной схеме – при нагревании субстрата в водно-метанольном растворе КОН, сначала происходит гидролиз амидных групп (снятие защиты с аминогрупп), а затем гидролиз более устойчивых цианогрупп. После окончания гидролиза реакционная смесь обрабатывалась раствором уксусной кислоты и выделялась целевая 4-(аминофенилазо)фталевая кислота, не требовавшая дополнительной очистки.



3(a,b)

a R1=NHCOCH$_3$; R$_2$=H; R$_3$=OH

b R1=H; R2=OH; R3=NHCOCH$_3$

4(a,b)

a R1=NH$_2$; R$_2$=H; R$_3$=OH

b R1=H; R2=OH; R3=NH$_2$

Рис. 3 – Схема гидролиза арилазофталонитрилов

Соединение 4а не удалось выделить в индивидуальном виде вследствие его высокой растворимости в воде и малой растворимости в органических растворителях.

Синтезированный мономеры АВ-типа 4(a,b) может быть использован для получения гомополиимидов, а также сополиимидов различной структуры [5].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Все синтезированные соединения – кристаллические вещества, строение и индивидуальность которых подтверждены методами ЖХ, ИК-, ^{1}Н ЯМР-спектроскопии.

ИК спектры записывали на приборе Фурье RX-1 PerkinElmer. Анализ веществ проводили в виде суспензии в вазелиновом масле между пластинами из KBr.

Спектры ^{1}Н ЯМР 5%-ных растворов образцов в ДМСО-d6 с внутренним стандартом ТМС записаны на приборе “Brucker AM-300” в ЯГПУ им. К.Д. Ушинского (Ярославль).

4-Аминофталонитрил (1) получен по методике, представленной в работе [3].

N-[3-(3,4-дицианофенилазо)-4-гидроксифенил]ацетамид (3а)В тонкостенном стакане на 50 мл 3 г 4-аминофталонитрила (0.021 моль) растворяют в 10 мл ДМФА, затем при активном перемешивании разбавляют в 3 раза водой, при этом амин выпадает в виде тонкой суспензии. В охлаждающей бане со льдом к полученной суспензии добавляют 6 мл конц. HCl и затем при активном перемешивании прикапывают раствор 1.5 г $NaNO_2$ (0.0217 моль) в 4-5 мл воды. Получают прозрачный, слегка желтоватый раствор соли диазония. Затем раствор соли диазония прибавляют при перемешивании к раствору 3.5 г N-(3-гидроксифенил)-ацетамида (0.021 моль) и 8.2 г ацетата натрия (0.1 моль) в 40 мл воды. Реакционную смесь перемешивают в течение 3-4 ч, при этом следят, чтобы температура реакционной смеси не превышала -5 ˚С. Затем реакционную смесь подкисляют до pH=4-5, осадок отфильтровывают и промывают на фильтре водой. Выход составляет 4.9 г N-[4-(3,4-дицианофенилазо)-3-гидроксифенил]ацетамида (76% по аминофталонитрилу). Это темно-красное кристаллическое вещество. $T_{пл}$=212-213 ^{o}С. ЯМР ^{1}Н (ДМСО-d6, м.д.): δ 2.0 (s, 3H); 7.1 (d, 1H, J=8.9); 7.6 (dd, 1H J_1=8.9, J_2=2.6); 8.0 (d, 1H, J=1.5); 8.3 (d, 1H, J=8.4); 8.4 (dd, 1H J_1=8.4, J_2=1.5); 8.8 (d, 1H, J=2.6); 9.9 (s, 1H); 10.5 (s, 1H). ИК спектр (KBr), см$^{-1}$: 3382 (ν NH), 3122 (ν OH), 2729 (δ OH), 2225 (ν CN), 1669 (ν C=O), 1613 (ν N=N), 1601 (бензольное кольцо), 1544 (δ NH).

N-[2-(3,4-дицианофенилазо)-5-гидроксифенил]ацетамид (3b) получен по методике аналогичной **3а**. $T_{пл}$=201-202 ^{o}С. ЯМР ^{1}Н (ДМСО-d6, м.д.): δ 2.3 (s, 3H); 6.6 (dd, 1H J_1=9.0, J_2=2.6); 7.8 (d, 1H J=9.0); 7,9 (d, 1HJ=2.6); 8.3 (d, 1HJ=8.4); 8.4 (dd, 1H, J_1=8.4, J_2=2.0); 8.7 (d, 1H J=2.0); 10.2 (s, 1H); 10.9 (s, 1H). ИК спектр (KBr), см$^{-1}$: 3355 (ν NH), 3266 (ν OH), 2232 (ν CN), 1659 (ν C=O), 1590 (ν N=N), 1562 (δ NH), 1499 (бензольное кольцо)

4-(2-амино-4-гидроксифенилазо)фталевая кислота (4b) В колбе на 50 мл растворяли 3.85 г КОН в смеси 20 мл H_2O:CH_3OH (50:50)нагревали до температуры 60-64˚С, при активном перемешивании добавляли 3 г N-[2-(3,4-дицианофенилазо)-5-гидроксифенил]ацетамида. Затем перемешивали в течение 10ч при температуре 60-65˚С. Затем реакционную смесь охлаждали и выливали в раствор 3.9 мл CH_3COOH в 30 мл воды, образовывался осадок темно-красного цвета. Образовавшийся осадок отфильтровывали и

промывали на фильтре. Получили 2.5 г 4-(4-амино-2-гидроксифенилазо)фталевой кислоты (86% по N-[2-(3,4-дицианофенилазо)-5-гидроксифенил]ацетамиду)). $T_{пл}$=207-208 ^{o}C. ЯМР ^{1}H (ДМСО-d6, м.д.): δ 6.1-6.3 (m, 2H); 7.3-7.5 (br. s, 4H); 7.6 (d, 1H J=8,6); 7.9 (d, 1H J=7.8); 8.0 (d, 1H J=8.6); 8.2 (s, 1H); 10.2 (br. s, 1H). ИК спектр (KBr), см$^{-1}$: 3550, 3214 (ν OH); 3404, 3303 (ν NH); 2718, 2585 (δ OH); 1617 (ν C=O); 1592 (ν N=N); 1503,1455 (бензольное кольцо)

Список литературы

1. *Виноградова С.В.* Поликонденсационные процессы и полимеры / С.В. Виноградова, В.А. Васнев. – М.: Наука, 2000. – 377 с.
2. *Кузнецов А.А., Бузин П.В., Яблокова М.Ю., Смирнов А.В., Абрамов И.Г.* Способ получения аминофеноксифталевых кислот // Патент РФ № 2259352. 2005. Бюл. № 24.
3. *Лысков В.Б.* Синтез и свойства аминофталонитрилов и продуктов на их основе: дис. канд. хим. наук. – Ярославль, 2010. – С. 123.
4. Синтез 4-(3-аминофенокси)- и 4-(4-аминофенокси)фталевых кислот – мономеров для полиэфиримидов / Смирнов А.В., Смирнова О.В., Красовская Г.Г., Абрамов И.Г. // Изв. вузов. Серия: химия и хим. технология. – 2004. – Т. 47, вып. 6. – С. 118 – 120.
5. New AB Polyetherimides Obtained by Direct Polycyclocondensation of Aminophenoxy Phthalic Acids / Busin P.V., Yablokova M.Y., Smirnov A.V., Kuznetsov A.A. Abramov I.G. // High Performance Polymers. – 2004. №16. – P. 505;

02.00.06

Н.С. Комиссарова, А.А. Хасанов, С.С. Комиссарова, В.А. Ефимов д.х.н., Ю.А. Родионов

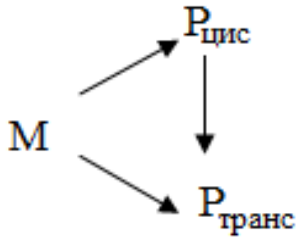
Ярославский государственный технический университет,
химико-технологический факультет,
кафедра «Химия и технология переработки полимеров»,
Ярославль, komissarovaN.S@yandex.ru

К ВОПРОСУ О СТЕРЕОСЕЛЕКТИВНОСТИ МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛООКТЕНА

Рассмотрен вопрос о стереоселективности формирования цис- и транс-двойных связей при метатезисной полимеризации циклооктена (ЦО), инициируемой каталитической системой гексахлорид вольфрама – тетраизобутилалюмоксан (ТИБАО). Рассмотрено влияние концентрации и состава катализатора, а также концентрации мономера на процесс стереорегулирования.

Ключевые слова: *стереорегулирование, метатезисная полимеризация, циклооктен.*

В работах [1,2] была исследована стереоспецифичность действия катализатора гексахлорид вольфрама – ТИБАО в процессе метатезисной полимеризации циклооктена. Авторами выдвинуто предположение о том, что процесс полимеризации протекает на одном типе активных центров с определенной стереоселективностью образования *цис*- и *транс*-двойных связей полимерной цепи. Показано, что параллельно реакции раскрытия кольца протекает реакция *цис*- и *транс*-изомеризации. В связи с этим процесс формирования микроструктуры полиоктенилена осуществляется по схеме параллельно-последовательных реакций:



Параллельные стадии было предложено характеризовать через величину σ_o, представляющую собой предел:

$$\sigma_o = \lim \sigma(\alpha)$$

где α -конверсия мономера, $\sigma(\alpha)$ – содержание *цис*-двойных связей при данной конверсии, доля.

Авторы считают, что σ_o не зависит от состава и концентрации катализатора и практически не зависит от начальной концентрации мономера ($[M]_o$). В качестве основного вывода из полученных экспериментальных результатов авторы [2] делают вывод, что "полимеризация ЦО протекает на одном активном центре, который с определенной вероятностью S_o осуществляет *цис*-раскрытие кольца". При этом подразумевается, что S_o характеризует "стереоселективность элементарного акта внедрения молекулы циклоолефина". В случае необратимой полимеризации ЦО $S_o \equiv \sigma_o$.

Необходимо отметить, что постулируемые независимости σ_o от состава и концентрации катализатора, а также от начальной концентрации мономера статистически не доказаны.

Целью данной работы является проверка гипотезы о протекании метатезисной полимеризации ЦО с раскрытием кольца на одном типе активных центров.

Поскольку процесс метатезисной полимеризации ЦО сопровождается *цис*- и *транс*-изометрией двойных связей полимерной цепи, то для проверки выдвинутой гипотезы

необходимо в первую очередь определить критическую глубину полимеризации для всех исследованных диапазонов изменения концентрации исходных реагентов, ниже которых вклад реакции изомеризации в микроструктуру цепи будет незначителен.

В связи с этим все данные работ [1,2], касающихся глубины процесса полимеризации на микроструктуру цепи, были приведены к виду функциональной зависимости концентрации *цис*-звеньев полимерной цепи в растворе ($P_{цис}$, моль/л) от α.

$$P_{цис} = f(\alpha) \quad (1)$$

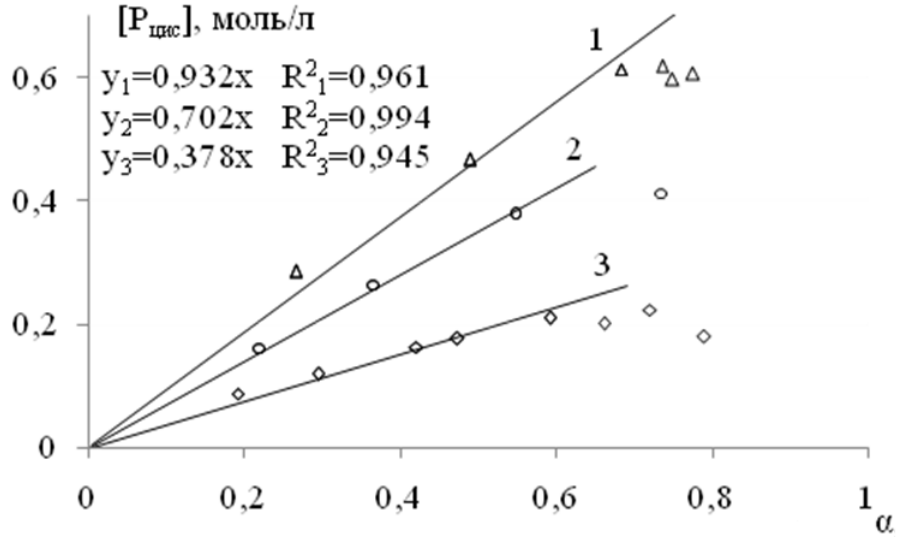
Правая граница линейной части зависимости (1) представляет собой критическую глубину полимеризации ($\alpha_{кр}$), выше которой реакцией *цис-транс*-изомеризациии пренебрегать нельзя.

Критические значения конверсии мономера, полученные при различных условиях проведения реакции, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Критические значения конверсии мономера

Концентрации компонентов, моль/л			Молярное отношение		$\alpha_{кр}$	Источник
$[ЦО]_o$	$[WCl_6]$ $\cdot 10^4$	[ТИБАО] $\cdot 10^4$	$[ЦО]_o$: $[WCl_6]$	[ТИБАО]: $[WCl_6]$		
1.0	3.5	2.6	2860	0.75	Не существует	[1], с.125
1.0	3.5	3.5	2860	1.0	0.55	[1], с. 126
1.0	3.5	7.0	2860	2.0	0.44	[1], с. 125
1.0	3.5	8.7	2860	2.5	0.34	[1], с. 126
1.45	3.5	3.5	4140	1.0	0.49	[1], с. 121
0.65	3.5	3.5	1860	1.0	0.42	[1], с. 122
1.0	2.4	2.4	4170	1.0	0.57	[1], с.123
1.0	4.7	4.7	2130	1.0	0.43	[1], с.123
1.0	7.0	7.0	1430	1.0	0.54	[1], с. 123

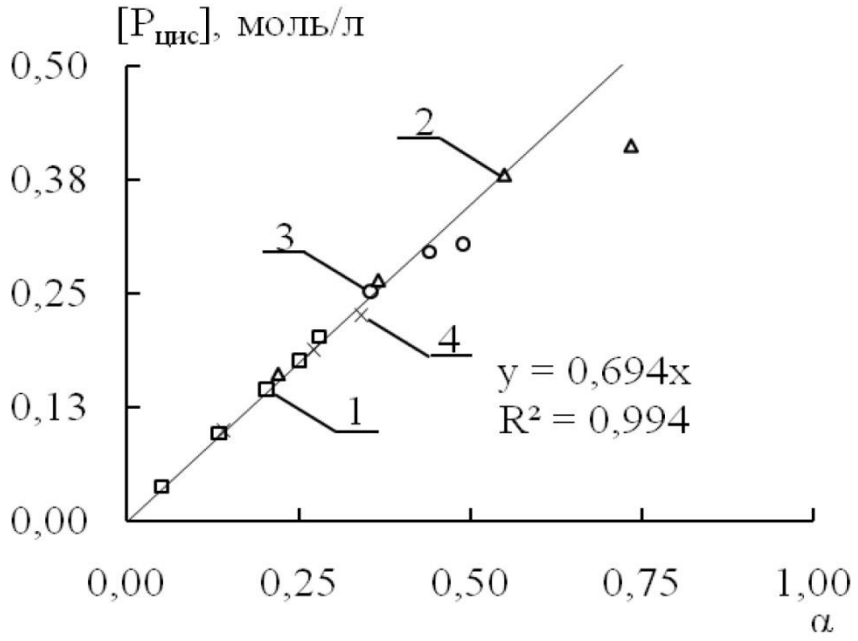
Типичная зависимость концентрации *цис*-звеньев полимерной цепи в растворе от глубины процесса представлена на рис. 1.



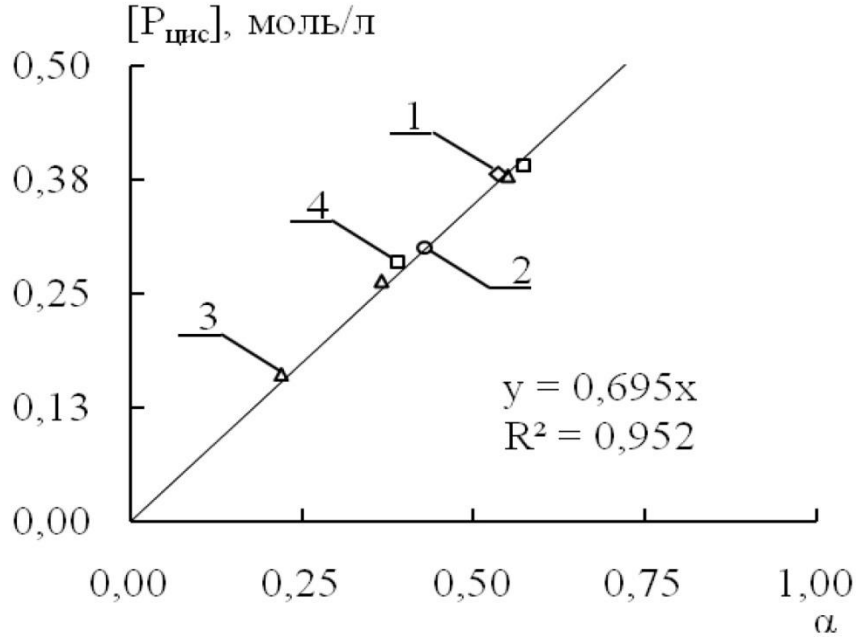
T = 12°C, молярные соотношения: [ТИБАО]:$[WCl_6]$ = 1, $[ЦО]_o$:$[WCl_6]$ = 1860
Концентрация, моль/л: $[ЦО]_o$ = 1.45(1), 1(2), 0.65(3)

Рис. 1 – Типичная зависимость концентрации *цис*-звеньев полимерной цепи в растворе от глубины процесса полимеризации

На рис. 2 представлены данные, отражающие влияние состава катализатора на микроструктуру полимерной цепи, образующейся на первоначальных этапах процесса. Вне зависимости от соотношения компонентов катализатора все экспериментальные результаты описываются линейной зависимостью с высокой степенью достоверности ($R^2 \rightarrow 1$). Аналогичная зависимость реализуется и при изменении относительной концентрации катализатора (рис. 3). Таким образом, высказанные в статье [2] предположения о независимости стереорегулирования в процессе метатезисной полимеризации ЦО от состава и концентрации катализатора находят свое статистическое подтверждение.



$[ЦО]_o$ = 1.0 моль/л, T=12°C,
Молярные отношения: $[ЦО]_o$:$[WCl_6]$ =2860 [ТИБАО]:$[WCl_6]$ = 0.75(1), 1(2), 2(3), 2.5(4)
Рис. 2 – Влияние состава катализатора на формирование микроструктуры цепи в процессе полимеризации ЦО



$[ЦО]_o$=1 моль/л, T = 12 °C, молярное соотношение: [ТИБАО]:$[WCl_6]$ = 1;
$[ЦО]_o$:$[WCl_6]$ = 1430 (1), 2130(2), 2860(3), 4170(4)
Рис. 3 – Влияние концентрации катализатора на формирование микроструктуры цепи в процессе полимеризации ЦО

Поскольку стереорегулирование на начальных этапах процесса не зависит от состава и концентрации катализатора, то анализ влияния концентрации мономера на σ_o может быть выполнен с использованием данных, полученных при любых значениях этих параметров.

В [2] представлена зависимость σ_o от исходной концентрации ЦО, изменяемая в диапазоне от 0.6 до 6.4 моль/л (рис. 4, 2). Несмотря на утверждение автора, что стереоселективность раскрытия кольца ЦО не зависит от начальной концентрации мономера ($[ЦО]_o$), анализ данных свидетельствует об обратном:

$$\sigma_o = 0.741+0.004\cdot[ЦО]_o \quad (R^2 = 0.881) \qquad (2)$$

С другой стороны, в приложении диссертации [1] содержатся данные, касающиеся влияния $[ЦО]_o$ на σ_o, но не вошедшие в [2]. Эти результаты эксперимента были приведены нами к виду (1) (рис. 1).

На основании зависимостей, представленных на рис. 1, в соответствии с уравнением (3) рассчитаны значения σ_o (табл. 2)

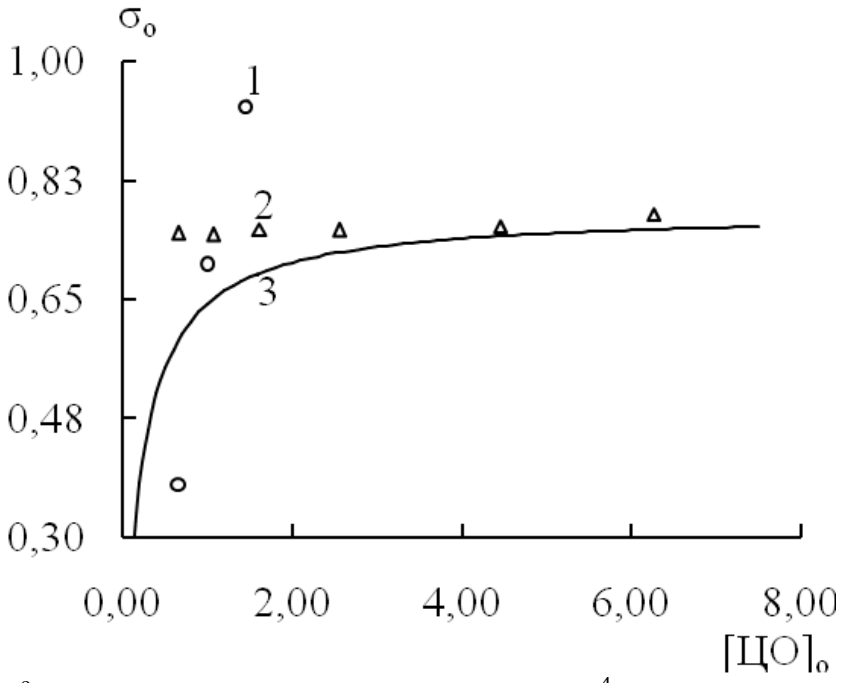
$$\sigma_o=P_{цис}/\alpha\cdot[ЦО]_o \qquad (3)$$

Таблица 2 – Влияние начальной концентрации мономера на σ_0

$[ЦО]_o$, моль/л	σ_o
0.65	0.38
1.00	0.70
1.45	0.93

На основании данных работ [1,2] и таблицы 2 построен обобщенный график зависимости $\sigma_o = f([ЦО]_o)$ (рис. 4).

Из представленных данных следует, что при исходных концентрациях ЦО менее 0.8 моль/л стереоселективность катализатора в элементарном акте раскрытия кольца в существенной степени зависит от начальной концентрации мономера. Данный факт находится в полном противоречии с постулатом, предложенным автором в [1,2]. То есть, предположение о том, что σ_o не зависит от начальной концентрации мономера в процессе метатезисной полимеризации ЦО, не находит своего подтверждения.



T=12°C, концентрация, моль/л: $[WCl_6] = 7.5\cdot10^{-4}$, $[ТИБАО] = 5.5\cdot10^{-4}$

1 – данные табл.2, 2 – данные работ [1,2], 3 – изотерма Ленгмюра

Рис. 4 – Влияние начальной концентрации ЦО на формирование микроструктуры полимерной цепи

Наоборот, экспериментальные данные, представленные на рис. 4, свидетельствуют, что мономер оказывает определенное влияние на стереоселективность действия катализатора. Такое влияние может быть интерпретировано в рамках гипотезы, предусматривающей формирование микроструктуры двойных связей полимерной цепи с участием как минимум двух типов активных центров, различающихся координационной ненасыщенностью переходного металла. Можно предположить, что ЦО входит в координационную сферу переходного металла и тем самым изменяет результирующую взаимодействия координирующего мономера с лигандным окружением металла. В отсутствии мономера в координационной сфере, метала стерические затруднения минимальны, и раскрытие кольца происходит или только, или преимущественно с образованием *транс*-структур. В присутствии мономера в координационной сфере раскрытие кольца происходит или только, или преимущественно с образованием *цис*-структур. Таким образом, данные рис. 4 свидетельствуют о том, что процесс метатезисной полимеризации протекает, предположительно, как минимум на двух типах активных центров (АЦ и АЦ←М), различающихся степенью координационной ненасыщенности.

Между этими центрами возможно установление равновесия:

$$\text{АЦ} + \text{М} \underset{k_k}{\overset{k_d}{\rightleftharpoons}} \text{АЦ}\leftarrow\text{М}$$

где k_k, k_d – константы скорости реакций координации и декоординации мономера на активном центре, соответственно. $K=k_k/k_d$ – константа равновесия.

Равновесие может быть охарактеризовано изотермой Ленгмюра:

$$\sigma_o = \sigma_{o\,\infty} K\cdot[\text{ЦО}]_o /(K\cdot[\text{ЦО}]_o +1) \qquad (4)$$

Обработка результатов экспепимента (рис. 4) удовлетворительно описываются зависимостью (3). При оптимизации представленной зависимости получены следующие значения параметров: $\sigma_{omax} = 0.78$, $K = 4.59$.

Таким образом, обработка полного массива экспериментальных данных, касающихся метатезисной полимеризации ЦО, свидетельствуют в пользу осуществления стереорегулирования при раскрытии кольца данного циклоолефина как минимум на двух типах активных центров, различающихся координационной ненасыщенностью и стереоспецифичностью действия.

Список литературы

1. *Сятковский А.И.* Стереоселективность полимеризации циклоолефинов с раскрытием кольца: дис. канд. хим. наук. – СПб., 1980. – 143 с.

2. *Сятковский, А.И.* Стереоселективность полимеризации циклоолефинов с раскрытием кольца // Каучук и резина. – 1981. – N 1. – С. 6-9.

02.00.13

А.С. Фролов, Е.А. Курганова к.х.н., Г.Н. Кошель д.х.н., Е.В. Самцова, Н.Д. Кукушкина

ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет»,
химико-технологический факультет, кафедра общей и физической химии,
Ярославль, koshelgn@ystu.ru

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА 2,5-КСИЛЕНОЛА НА ОСНОВЕ П-КСИЛОЛА

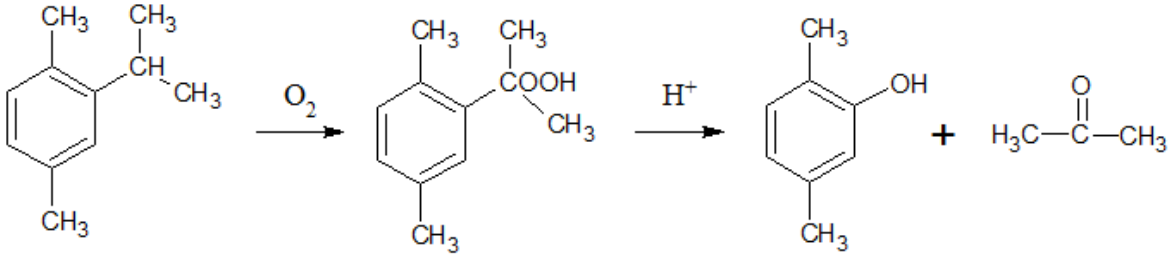
Изучены закономерности «окислительного» метода получения 2,5-ксиленола, на основе п-ксилола, который включает стадии синтеза изопропил(циклогексил)-п-ксилолов, их жидкофазное окисление до гидропероксидов с последующим кислотным разложением последних в 2,5-ксиленол совместно с ацетоном (циклогексанолом) соответственно.

Ключевые слова: *окисление, 2,5-ксиленол, гидропероксид.*

2,5-ксиленол – крупнотоннажный продукт органического синтеза и широко используются в производстве пластификаторов, лакокрасочных материалов, является полупродуктом в синтезе витамина Е и мономером для получения термостойких материалов [1].

Известные методы синтеза 2,5-ксиленола [1, 2] характеризуются многостадийностью, низкими выходами целевых продуктов, высокой себестоимостью их получения, большим расходом вспомогательных материалов. Все это в значительной мере ограничивает их промышленную реализацию.

Наиболее перспективным и экономически предпочтительным является «окислительный» метод получения 2,5-ксиленола на основе *п*-ксилола, который включает стадии получения изопропил-*п*-ксилола (ИП-*п*-К), жидкофазного его окисления до гидропероксида и последующего кислотного разложения до целевых продуктов. Схему химических превращений для получения 2,5-ксиленола можно представить следующим образом:



Расширить это направление синтеза 2,5-ксиленола можно за счет химических превращений циклогексил-*п*-ксилола (ЦГ-*п*-К). При этом в качестве целевого продукта наряду с 2,5-ксиленолом вместо ацетона образуется более ценный продукт органического синтеза – циклогексанон.

Анализ современного состояния и перспектив развития процессов получения алкилароматических углеводородов свидетельствует том, что для их получения из нефтехимического сырья в настоящее время используется две технологии алкилирования алкилароматических углеводородов пропиленом. В первом процессе используется катализаторный комплекс на основе хлористого аллюминия, во втором (SPA технология) – используется «твердая» фосфорная кислота. По пронципиальным позициям, применительно к синтезу ИП-*п*-К они аналогичны технологии получения изопропилбензола (ИПБ), в тоже время они отличаются от последнего более широким спектром превращений.

Альтернативным методом получения ИП-*п*-К и ЦГ-*п*-К может служить алкилирование *п*-ксилола спиртами – изопропанолом и циклогексанолом в присутствии серной кислоты [3, 4]. Реакцию алкилирования *п*-ксилола вышеуказанными спиртами проводили при мольном соотношении *п*-ксилол : спирт : H_2SO_4 равным 3 : 1 : 3 при температуре от 10 до

20°С в течение 3 - 4 часов. Установлено, что в процессе алкилирования *п*-ксилола изопропиловым спиртом и циклогексанолом удается получить ЦГ-*п*-К и ИП-*п*-К с выходом выше 80 %. Для выяснения структуры полученных соединений были сняты и проанализированы ИК-спектры.

Характеристическими особенностями ИК спектров данных соединений является наличие валентных колебаний С-Н-связи в ароматическом кольце в области частот более 3000 $см^{-1}$. Валентные колебания С=С связей бензольного кольца характеризуются полосами 1610, 1570, 1500 $см^{-1}$. Замещение в бензольном кольце подтверждается поглощением в области частот от 2000 до 1600 $см^{-1}$. На замещение 1,2,4 указывают полоса 870 $см^{-1}$, характерная для изолированного атома водорода и 805 $см^{-1}$ – для двух симметричных атомов водорода в бензольном кольце. Присутствие циклогексанового кольца в ЦГ-*п*-К подтверждается полосами валентных симметричных и ассиметричных колебаний CH_2-групп 2917 $см^{-1}$, 2846 $см^{-1}$ и поясничным колебанием CH_2-групп в области 1446 $см^{-1}$. Наличие изопропильной группы в ИП-*п*-К подтверждается присутствием полосы в районе 1160 $см^{-1}$ на ИК-спектре.

Таким образом, анализ полученных данных убедительно свидетельствует о том, что при алкилировании *п*-ксилола изопропиловым спиртом и циклогексанолом образуется лишь один изомер, содержащий алкильные заместители в положении 1,2,4.

Центральной стадией «окислительного» способа получения *2,5*-ксиленола является жидкофазное окисление ИП-*п*-К или ЦГ-*п*-К до соответствующих гидропероксидов (ГП). В научно-технической литературе имеется обширный материал, посвященный окислению изопропилбензола до ГП [5,6] Значительно меньше внимания уделяется окислению изопропильных производных других ароматических углеводородов, в том числе производных п-ксилола. Имеющиеся по этому вопросу данные неоднозначны и весьма противоречивы. Так например, установлено,что при окислении изопропилксилолов в присутствии ацетата кобальта в реакцию вступают все три радикала, а в присутствии инициаторов окисляется только изопропильная группа. [7]

В этой связи были проведены исследования, направленные на выбор условий окисления ИП-*п*-К и ЦГ-*п*-К, а также на установление характера образующихся при этом соединений.

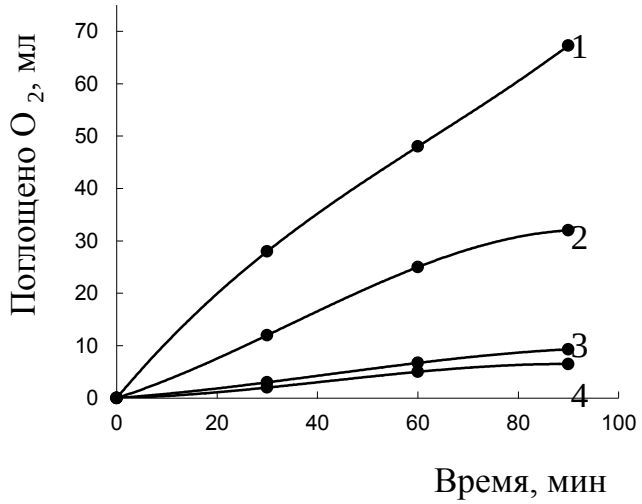
Окисление указанных соединений проводили кислородом при атмосферном давлении в замкнутой системе в кинетическом режиме. За ходом реакции следили по поглощению кислорода. По окончании реакции оксидат анализировали на содержание гидропероксида йодометрическим методом анализа.

Первоначально были изучены закономерности окисления ЦГ-*п*-К в интервале температур от 100 до 140 ºС, в присутствии ГП ИПБ в качестве инициатора, в количестве от 1,19 до 2,5 % масс от загрузки углеводорода. Определено, что при увеличении температуры со 100 до 140 ºС наблюдается увеличение скорости окисления ЦГ-*п*-К и ИП-*п*-К в 2-3 раза, с селективностью их образования от 85 до 88 %. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице.

Таблица – Влияние температуры на процесс жидкофазного окисления ИП-*п*-К, ЦГ-*п*-К. Содержание инициатора (ГП ИПБ) – 2,5 % (масс.)

Углеводород	Температура, ºС	Время реакции, ч	Содержание ГП, %	Селективность образования ГП, %	Конверсия углеводорода, %
ЦГ-*п*-Ксилол	110	3	2,8	87,8	3,2
	120		4,1	87,1	4,7
	130		5,5	85,3	6,4
	140		6,3	84,7	7,4
ИП-*п*-Ксилол	100	1,5	0,9	88,3	1,0
	110		1,4	87,9	1,6
	120		2,7	86,2	3,1
	130		3,7	85,0	4,4

Средняя скорость накопления гидропероксида ИП-*п*-К (2,4 % ГП/ч) несколько выше, чем аналогичный показатель для ЦГ-*п*-К (2,13 % ГП/ч). Но по этому показателю они значительно уступают *п*-изопропилтолуолу и ИПБ. Отмеченное различие в скорости окисления изопропильных производных бензола, толуола и ксилола по-видимому связано со стерическими затруднениями, вызванными наличием метильных групп и их количества в исследуемых соединениях (рисунок 1).



Температура 120 °С; содержание инициатора (ГП ИПБ) 2,5 % масс. от загрузки углеводорода; время реакции 90 мин.

Рис. 1 – Сравнительные данные по жидкофазному окислению ИПБ и его метильных и циклогексильных производных: 1 – ИПБ, 2 – *п*-изопропилтолуол, 3 – ИП-*п*-К, 4 – ЦГ-*п*-К

Полученные гидропероксиды ИП-*п*-К и ЦГ-*п*-К были подвергнуты кислотному разложению в присутствии концентрированной серной кислоты в качестве катализатора. 2,5-ксиленол был получен совместно с ацетоном (циклогексаноном) с выходом от 75 до 80 %, что косвенно подтверждает строение полученных ГП.

Список использованных источников

1. *Харлампович, Г.Д.* Производство крезолов и ксиленолов из нефтехимического сырья и их применение / Г.Д. Харлампович, И.В. Калечиц, Ю.В. Чуркин // Химическая промышленность. – 1968. – № 1. – с.16-20.
2. *Харлампович, Г.Д.* Фенолы / Г.Д. Харлампович, Ю.В. Чуркин – М. Химия, 1974. – с.376
3. *Румянцева, Ю.Б.* Синтез цимолов алкилированием толуола изопропиловым спиртом / Ю.Б. Румянцева, Е.А. Курганова, Г.Н. Кошель, А.А. Иванова, В.В. Хренова // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2011. – № 54. вып. 9, – с. 27-29.
4. *Курганова, Е.А.* Жидкофазное инициированное окисление циклогексильных производных ксилолов / Е.А. Курганова, Е.В. Смирнова, Ю.А. Лойко, Г.Н. Кошель // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2008. – №4, т. 51. – с. 34-36.
5. *Кружалов, Б.Д.* Совместное получение фенола и ацетона / Б.Д. Кружалов, Б.И. Голованенко – М.: Гостоптехиздат, 1963. с. 200.
6. *Закошанский, В.М.* Кумольный процесс получения фенола-ацетона – история и развитие // Нефтехимия. – 2007. – №4 Т. 47. – с. 301-325.
7. *Бондаренко, А.В.* Окисление изопропил-*м*-ксилола / А.В. Бондаренко М.И. Фарберов, В.А. Засовà, Н.В. Веденеева // Журнал прикладной химии. – 1966. – №2. – с. 404-409.

02.00.06

А.А. Хасанов, В.А. Ефимов, С.С. Комиссарова, Н.С. Комиссарова, Ю.А. Родионов

Ярославский государственный технический университет,
химико-технологический факультет,
кафедра «Химия и технология биологически активных и высокомолекулярных соединений»,
Ярославль, hasanovaa@ystu.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Рассмотрены вопросы расчета молекулярно-массового распределения (ММР) полимеров, образующихся в процессе обратимой живущей полимеризации. Разработана программа, позволяющая рассчитать ММР и его параметры с необходимой степенью точности.

Ключевые слова: *Молекулярно-массовое распределение, математическая модель, программа, расчет.*

Развитие вычислительной техники в настоящее время позволяет проводить моделирование кинетики различных химических реакций, в том числе реакций полимеризации, которые, как правило, описываются с помощью достаточно большого числа дифференциальных уравнений. Нами рассмотрены вопросы расчета ММР полимеров, на примере наиболее простой реакции – обратимой живущей полимеризации, характеризующейся мгновенным инициированием, которая может быть представлена в виде следующей кинетической схемы:

$$R_j + M \underset{k_d}{\overset{k_p}{\rightleftharpoons}} R_{j+1}$$

где R_j – концентрация активных j-меров, M – текущая концентрация мономера, k_p и k_d – константы скорости роста и деполимеризации, соответственно.

Ранее в литературе уже рассматривался вопрос расчета ММР полимеров, образующихся в результате данной реакции [1, 2], однако, методологическая сторона расчета оставалась неясной. В связи с этим нами был предложен [3 - 7] определенный методологический подход к расчету ММР полимеров, образующихся в ходе данной реакции. Согласно выполненному анализу математическая модель для расчета процесса должна быть представлена в следующем виде

$$\frac{dR_1}{d\tau} = -\frac{M \cdot R_1}{C_0} + M_p \frac{R_2}{C_0},$$

$$\frac{dR_j}{d\tau} = \frac{M}{C_0}(R_{j-1} - R_j) - \frac{M_p}{C_0}(R_j - R_{j+1}); \quad j = 2 \ldots L-1$$

$$\frac{dR_L}{d\tau} = \frac{M}{C_0}(R_{L-1} - R_L) - \frac{M_p}{C_0} R_L,$$

$$\frac{dM}{d\tau} = -\frac{M\left(\sum_{j=1}^{L-1} R_j\right)}{C_0} + \frac{M_p\left(\sum_{j=2}^{L} R_j\right)}{C_0}$$

где C_o – концентрация катализатора, $M_p = k_d/k_p$ – отношение константы скорости реакции деполимеризации к константе скорости реакции роста цепей (равновесная концентрация

мономера), $d\tau = K_p C_o dt$ – приведенное время, L – максимальная расчетная длина цепи (L), закладываемая в программу.

С теоретической точки зрения количество мономерных звеньев в определенной доле полимерных цепей в пределе может стремиться к бесконечности, т.е. j_{max} (практически получаемая при расчете максимальная длина цепи: $R_{jmax} \neq 0$, $R_{jmax+1} = 0$) может быть равна бесконечности. Поскольку система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) может включать в себя значительное, причем произвольное и неограниченное количество уравнений, то расчет подобного типа ОДУ требует неоправданно большого количества машинного времени, что, естественно, неприемлемо. В связи с этим нами и было введено понятие максимальной расчетной длины цепи (L), для которой выполняются следующие условия: $R_L \neq 0$, $R_{L+1} = 0$.

Совершенно очевидно, что получение достоверных результатов возможно только при выполнении условия [5]

$$j_{max} \leq L. \qquad (1)$$

На основании предложенной математической модели и в соответствии с выдвинутым критерием (1) нами была составлена программа для расчета ММР полимеров и их параметров. Блок-схема данной программы показана на рисунке 1. Последовательность операций при расчете может быть представлена в следующем виде:

1 На первом этапе определяются начальные условия расчета: c_o – вектор начальных концентраций (M_o, $R_1 = C_o$, $R_j = 0$, $j = 2 \,..\, L_o$), L_o – исходное значение L, τ_o – начальное время расчета, $\Delta\tau$ – шаг расчета по времени.

2 Производится расчет системы ОДУ с использованием метода Рунге-Кутты 4-го и 5-го порядка, находятся значения вектора концентраций ($c_{1(i)}$ (M_i, R_1^i, ..., R_L^i)) для момента времени τ_i.

3 Проверяется, выполняется ли критерий 1.

3.1 В случае его выполнения производится расчет конверсии мономера (α_i), среднечисленной ($\overline{P}_n^i$), среднемассовой ($\overline{P}_w^i$) и среднезетной ($\overline{P}_z^i$) степени полимеризации, а также коэффициента полидисперсности ($\overline{P}_w^i / \overline{P}_n^i$). Далее проверяется, достигнуто ли условие стационарности процесса:

$$\frac{\beta_{i-1} - \beta_i}{\beta_{i-1}} \leq \gamma$$

где β – любое из значений параметров молекулярно-массового распределения ($\overline{P}_n$, $\overline{P}_w$, $\overline{P}_z$ или $\overline{P}_w / \overline{P}_n$), γ – принимаемая точность расчета параметра.

В случае, если хотя бы одно из условий окажется истинным, переменной V присваивается нулевое значение, в противном случае, переменной V присваивается значение равное единице. При этом переменным *c_temp* и *τ_temp* присваиваются значения вектора концентраций (c_i) и переменной τ_i, полученные на предыдущем шаге расчета, соответственно.

3.2 В случае, если критерий 1 выполняется, то значение $L_{o(q)}$ увеличивается на $n \cdot L_{o(q)}$, где n – коэффициент возрастания, q – номер этапа индексирования L. Переменной V присваивается значение равное единице, переменным *c_temp* и *τ_temp* присваиваются значения вектора концентраций (c_{i-1}) и τ_{i-1}, которые были начальными при расчете предыдущего шага.

4 Проверяется выполнение условия выхода из расчета, т.е. равно ли значение переменной V нулю. В случае, если данное условие выполняется, то осуществляется вывод результатов, с последующим завершением работы программы. В противном случае запускается расчет системы ОДУ, при этом в качестве начальных условий выступают вектор *c_temp* и переменная *τ_temp*.

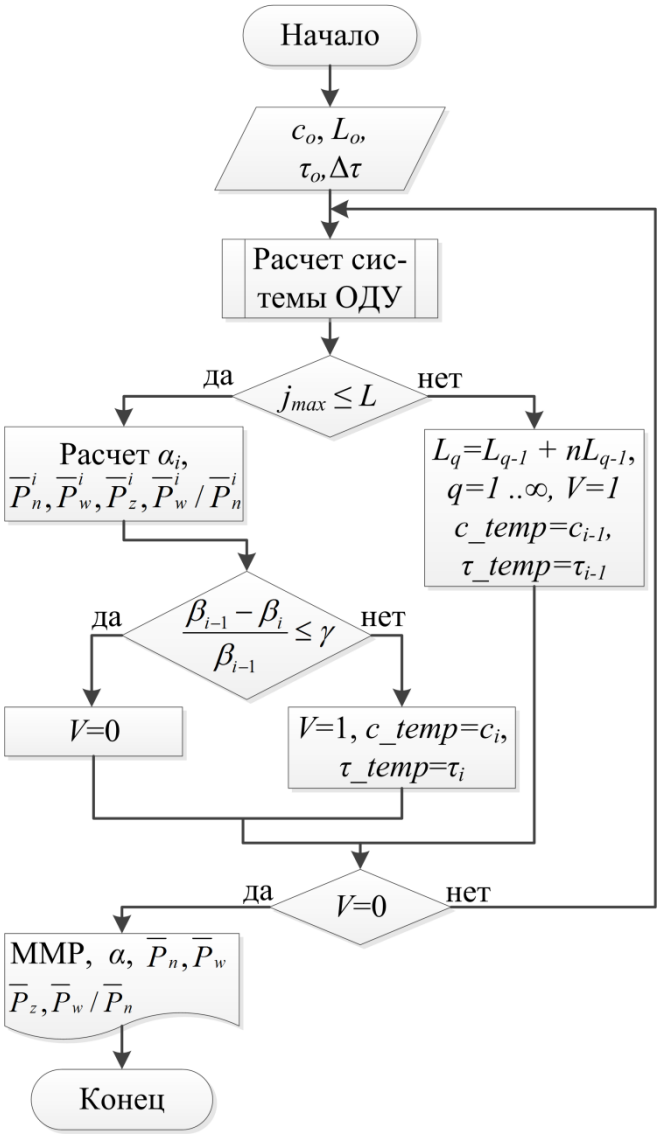
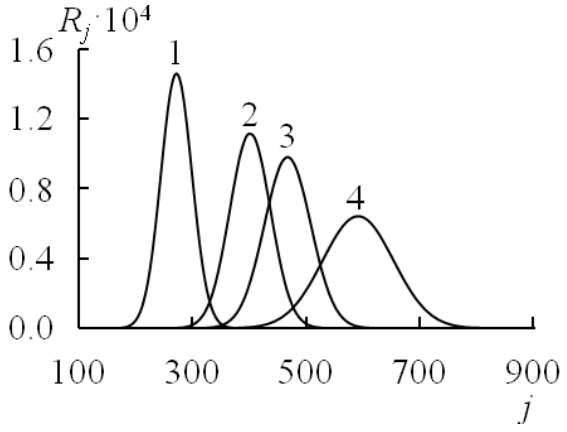


Рис. 1 – Блок-схема программы для расчета ММР полимеров и его параметров

Разработанная программа была использована для расчета функции ММР и его параметров для полимеров, образующихся в процессе обратимой живущей полимеризации, характеризующейся мгновенным образованием активных центров. Полученные результаты (рисунок 2) свидетельствует о том, что ММР полимера соответствует распределению Пуассона.



L = 1200, M_o = 10 моль/л, $C_o = 10^{-2}$ моль/л, M_p = 4 моль/л, $\beta = \overline{P}_z$, $\gamma = 10^{-5}$

α: 0.27(1), 0.4(2), 0.465(3), 0.59(4)

Рис. 2 – Изменение ММР в ходе процесса полимеризации

Список литературы

1. *Тоноян А.О., Давтян С.П., Розенберг Б.А., Иржак В.И.* Молекулярно-весовое распределение при обратимости роста живых цепей // ДАН СССР. – 1970. – Т. 193. № 4. – С. 802–804.
2. *Розенберг Б.А., Иржак В.И., Ениколопян Н.С.* Межцепной обмен в полимерах. – М.: Химия, 1975. – 240 с.
3. *Хасанов А.А., Ефимов В.А., Жулева Ж.С.* Некоторые методологические аспекты расчета молекулярно-массового распределения // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – №6. – С. 64-67.
4. *Хасанов А.А., Ефимов В.А., Тихомирова О.О., Комиссарова Н.С., Комиссарова С.С.* Особенности расчета молекулярно-массового распределения полимеров. – Теория и практика современной науки. Материалы 18 Международной научно-практической конференции – Ч.1. – М: Спецкнига, 2012. – С. 152-158.5. *Хасанов А.А., Ефимов В.А.* К методологии расчета молекулярно-массового распределения полимеров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №1. – С. 67-70.
6. *Хасанов А.А., Комиссарова Н.С., Комиссарова С.С., Булатов А.В.*, *Ефимов В.А.* Разработка методологии расчета молекулярно-массового распределения в процессе живущей обратимой полимеризации. – Химическая наука: современные достижения и исторические перспективы. 1 всероссийская научная Интернет-конференция с международным участием : материалы конференции. – Казань: И.П. Синяев Д.Н. – 2013 – С. 187-189.
7. *Хасанов А.А., Ефимов В.А., Тихомирова О.О., Ефимова Г.А.* Методология расчета молекулярно-массового распределения полимеров. –Математические методы в технике и технологиях ММТТ-26: Сборник трудов XXVI Международной научной конференции. Т.6, С. 32.

02.00.03

Ж.В. Чиркова, М.В. Кабанова, С.И. Филимонов, И.Г. Абрамов, Е.А. Смирнова

Ярославский государственный технический университет,
химико-технологический факультет, кафедра общей и физической химии,
Ярославль, chirkovazhv@ystu.ru

СИНТЕЗ НОВЫХ ЗАМЕЩЁННЫХ ХИНОКСАЛИН-6,7-ДИКАРБОНИТРИЛОВ

Исследована реакция 4,5-диаминафталонитрила с этиловым эфиром 3-циано-3-(4-метоксикфенил)-2-оксопропионовой кислоты и зафиксировано образование 2-[1-циано-2-(4-метоксифенил)-2-оксоэтилиден]-3-оксо-1,2,3,4-тетрагидрохиноксалин-6,7-дикарбонитрила при длительном нагревании.

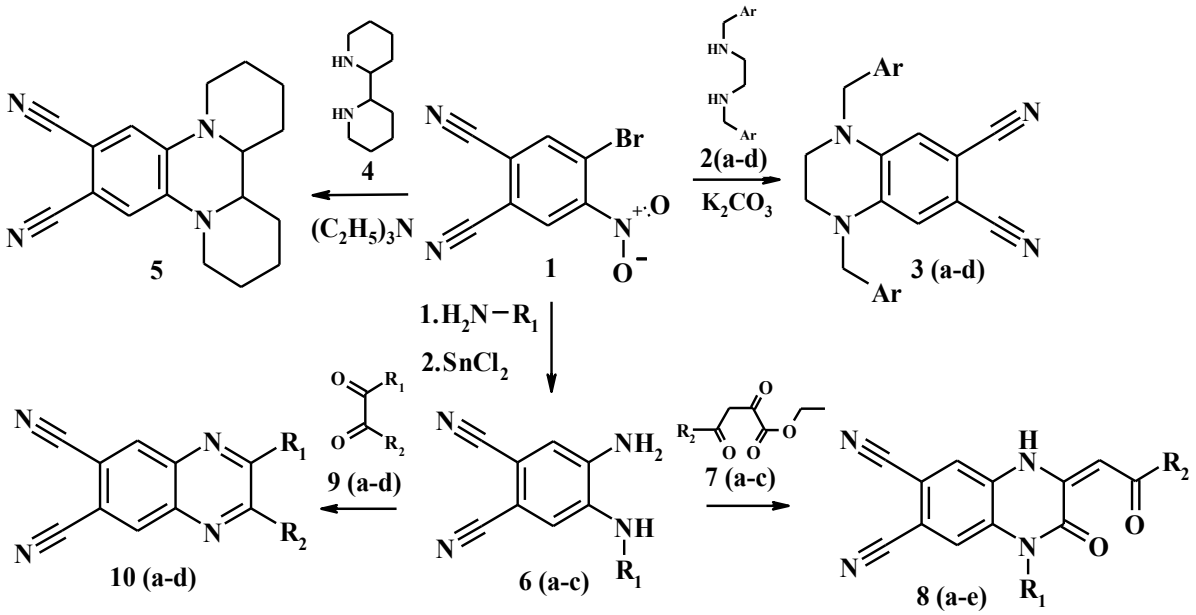
Ключевые слова: *диамины, карбонильные соединения, хиноксалины, ЯМР-спектроскопия*.

Являясь потенциальными носителями различных видов биологической активности, насыщенные и ненасыщенные азотсодержащие гетероциклические системы очень активно используются для создания новых высокоэффективных лекарственных препаратов [1-5]. Присутствие в сопряжённых системах гетероциклических и различных донорно-акцепторных периферийных заместителей придаёт им уникальные электрофизические свойства, и появляется интересная перспектива получения новых полупроводниковых, волоконно-оптических, флуоресцирующих и ряда других материалов [6].

К рассматриваемым гетероциклическим системам относятся хиноксалины различного строения, основные методы синтеза которых описаны в работах [7, 8]. Целью нашей работы является разработка методов синтеза новых хиноксалинов, конденсированных с фталонитрильным фрагментом.

Одним из вариантов синтеза указанных систем является использование в качестве субстрата 4-бром-5-нитрофталонитрила (БНФН) **1** [9], который легко взаимодействует с замещенными 1,4-диаминами различного строения с образованием *N,N′*-замещённых тетрагидрохиноксалинов **3 (a-d)** и **5** [10-12].

Схема 1

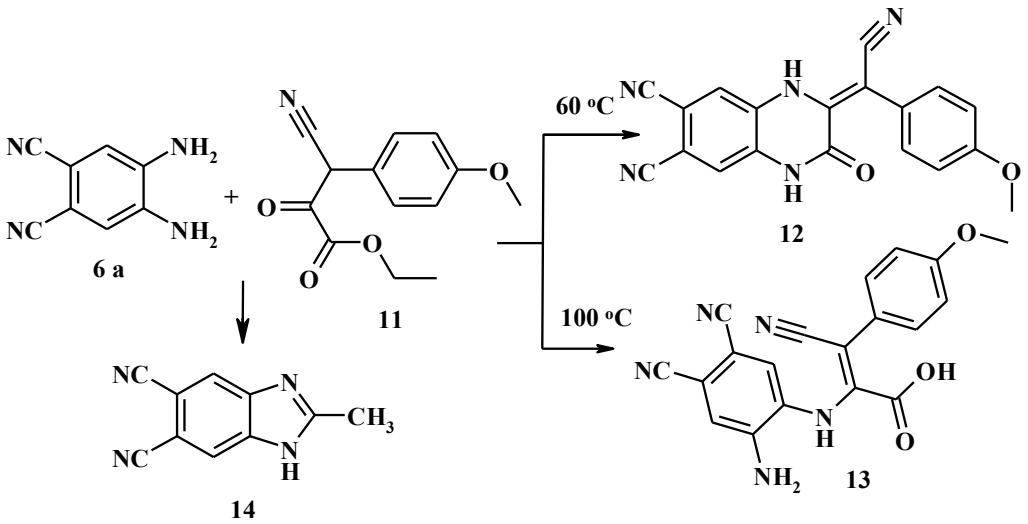


2 a-Ar=C_6H_5, **b**-Ar=$C_6H_4N(CH_3)_2$, **c**-Ar=4-Cl-C_6H_4, **d**-Ar=4-CH_3-C_6H_4
6 a-R_1=H, **b**-R_1=C_6H_5, **c**-R_1=C_6H_{11}
7 a-R_1=4-OCH_3-C_6H_4, **b**-R_1=3-Py, **c**-R_1=4-Cl-C_6H_4
8 a-R_1=H, R_2=4-OCH_3-C_6H_4, **b**-R_1=C_6H_5, R_2=4-OCH_3-C_6H_4,
c-R_1=H, R_2=3-Py, **d**-R_1=C_6H_5, R_2=4-Cl-C_6H_4, e- R_1=C_6H_{11}, R_2=4-OCH_3-C_6H_4
9, **10** R_1, R_2 =Alk, Ar

Другим вариантом получения целевых гетероциклических систем является разработанный нами ранее трехстадийный метод синтеза 6,7-дициано-1,2-дигидрохиноксалин-2-онов **8 (a-e)** и **10 (a-d)**, в основе которого лежит взаимодействие замещенных 4,5-диаминафталонитрилов **6 (a-c),** полученных из БНФН, с дикарбонильными соединениями различного строения [13, 14].

Кетокислота **11**, содержащая цианогруппу, также взаимодействует с диаминами, но более специфично. Продукт конденсации **12** удалось выделить только при использовании в качестве реагента незамещённого диамина **6a** при температуре 60 ºС в ледяной уксусной кислоте. При повышении температуры реакции до 100 ^{o}С была выделена ациклическая аминокислота **13** (Схема 2). Можно предположить, что образование соединения **13** при более высокой температуре объясняется конкурирующей реакцией гидролиза сложноэфирной группы промежуточного продукта в результате выделения воды на первой стадии конденсации. Конденсации же другой карбоксильной группы с аминогруппой в условиях реакции не наблюдается, что объясняется наличием электроноакцепторных заместителей в соединении **13**. Так же установлено, что при длительном нагревании при температуре более 100 °С в уксусной кислоте вместо ожидаемого целевого продукта **12** доминирует бензимидазол 14 [12].

Схема 2



В ИК-спектрах соединений **12** и **13** наблюдаются характерные для цианогрупп полосы поглощения в области 2227 и 2237 $см^{-1}$, карбонильной группы – 1693 и 1702$см^{-1}$. Для соединения **13** сигнал N-H связи не наблюдается, что объясняется образованием внутримолекулярной водородной связи с гидроксильной группой. В ЯМР ^1H спектрах наблюдаются слабопольные сигналы в области 12.0-13.0 м.д., соответствующие сигналам NH протонов, два синглета протонов фталонитрильного цикла в области 7.5-8.5 м.д., сигнал метинового протона в области 6.80- 6.90 м.д., а так же сигналы протонов фрагмента боковой цепи.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР регистрировали на приборе «Bruker DRX-500» для растворов в ДМСО-d^6 при 30 °С. В качестве эталона для отсчета химических сдвигов использовали сигналы остаточных протонов растворителя в протонных спектрах (δ_H 2.50 м.д.) или сигнал ДМСО-d^6 в углеродных спектрах (δ_C 39.5 м.д.) (ИОХ РАН г. Москва). ИК-спектры записывали на приборе Фурье RX-1 Perkin Elmer с длиной волны 700–4000 $см^{-1}$. Анализируемые вещества находились в виде суспензии в вазелиновом масле. Отнесение полос поглощения проводили согласно имеющимся литературным данным. Элементный анализ проводился на приборе Perkin Elmer 2400 (ИНЭОС РАН г. Москва). Масс-спектры регистрировали на хромато-масс-спектрометре «FINNIGAN MAT.INCOS 50» при ионизационном напряжении электронов 70 эВ и температуре в камере ионизации 100 – 220 °С (ИОХ РАН г. Москва).

Исходный БНФН **1** синтезирован по методике [9].

Общая методика синтеза соединений 12, 13

К 10 мл ледяной уксусной кислоты при интенсивном перемешивании добавляют 0.01 моль диаминофталонитрила **6а** и 0.011 моль производного дикарбонильного соединения **11.** Реакционную массу перемешивают при температуре 60 °С в течение 1 ч, для получения соединения **13** реакцию проводят при 100 °С в течение 2-4 ч, затем выпавший осадок целевого продукта отфильтровывают и промывают горячим спиртом, сушат на воздухе.

12 (2*E*)-2-[1-циано-2-(4-метоксифенил)-2-оксоэтилиден]-3-оксо-1,2,3,4-тетрагидрохиноксалин-6,7-дикарбонитрил. Выход 63%, т.пл. 267-269°С, ИК-спектр (δ, $см^{-1}$): 2227 (CN), 1693 (C=O), 1593(C=O). Спектр ЯМР ^1H (ДМСО-d_6 δ, м.д., *J*/Гц): 3.85 (3H, s, OMe), 7.06 (2H, d, 3’-H, 5’-H, J=8.5), 7.34 (1H, s, 8-H), 7.41 (2H, d, 2’-H, 6’-H, J=8.5), 7.67 (1H, s, 5-H), 10.23 (1H, s, N-H), 12.11 (1H, s, N-H). Масс-спектр, *m*/*z* (%): 341 [M^+] (5), 146 (88), 129 (34), 122 (37), 105 (48), 102 (41), 77 (100), 63 (47), 51 (88). Найдено, % C 64.85; H 2.81; N 18.87; $C_{20}H_{11}N_5O_3$. Вычислено, % C 65.04; H 3.00; N 18.96.

13 (2*E*)-2-[(2-амино-4,5-дицианофенил)амино]-3-циано-4-(4-метоксифенил)-4-оксобутановая кислота. Выход 51%, т.пл. 234-236°С, ИК-спектр (δ, $см^{-1}$): 2237 (CN), 2205, 2191 (C-CN), 3368, 3326, 1619 (NH_2), 3243 (OH), 1702 (C=O). Спектр ЯМР ^1H (ДМСО-d_6 δ, м.д., *J*/Гц): 3.84 (3H, s, OMe), 7.05 (2H, d, 3’-H, 5’-H, J=8.5), 7.34 (1H, s, 8-H), 7.42 (2H, d, 2’-H,

6'-H, J=8.5), 7.54 (2H, s, NH_2), 7.66 (1H, s, 5-H), 12.06 (2H, br. s, N-H, O-H). Найдено, % C 61.87; H 3.21; N 18.02; $C_{20}H_{13}N_5O_3$. Вычислено, % C 62.02; H 3.38; N 18.08.

Список литературы

1. *Li Xun, Yang Kang-hui, Li Wei-lu, Xu Wen-fang.* Recent advances in the research of quinoxalinone Derivatives // Drugs of the Future 2006, 31 (11), 979.
2. *D.J. Brown.* // The Chemistry of Heterocyclic Compounds. QUINOXALINES, Supplement II, 2004.
3. *V.J. Arán, Marcel Kaiser, Christophe Dardonville.* Discovery of nitroheterocycles active against African trypanosomes. In vitro screening and preliminary SAR studies. // Bioorg.& Med. Chem. Lett., 22 (14), 4506.
4. *Efrat Korin, Beny Cohen, Yue-Xia Bai, Cheng-Chu Zeng, James Y. Becker.* The effect of substituents on the response of 3,4-dihydro-3-(2-oxo-2-phenylethylidene)-quinoxalin-2(1H)-one derivatives toward binding of Cu^{2+}// Tetrahedron, 68 (36), 7450.
5. *Rui Liu, Zhuhui Huang, Michael G. Murray, Xiaoyong Guo, and Gang Liu.* Quinoxalin-2(1H)-One Derivatives As Inhibitors Against Hepatitis C Virus // J. Med. Chem., 2011, 54 (16), 5747.
6. *O. S. Wolfbeis*. Springer Series on Fluorescence. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
7. *Vakhid A. Mamedov, Nataliya A. Zhukova*. Progress in Quinoxaline Synthesis (Part 1) // Progress in Heterocyclic Chem., 2012, 24, 55.
8. *Vakhid A. Mamedov, Nataliya A. Zhukova*. Progress in Quinoxaline Synthesis (Part 2) // Progress in Heterocyclic Chem., 2013, 25, 1.
9. *S. A. Ivanovskii, M. V. Dorogov, I. G. Abramov and A. V. Smirnov,* Russian Patent, 2167855, 2001.
10. *И.Г. Абрамов, А.В. Смирнов, М.Б. Абрамова, С.А. Ивановский, М.С. Белышева.* Синтез *N,N'*-алкилированных тетрагидрохиноксалинов реакцией 4-бром-5нитрофталонитрила с вторичными диаминами. // ХГС, 2002, 5, 660.
11. *I.G. Abramov, V.V. Zhandarev, A.V. Smirnov, L.S. Kalandadze, M.E. Goshin, V.V. Plakhtinskii.* Synthesis of substituted azines with the participation of 4-bromo-5-nitrophthalonitrile // Mendeleev Comm., 2002, 12 (3), 120.
12. *С.И. Филимонов, И.Г. Абрамов*. Синтез конденсированных гетероциклических *о*-дикарбонитрилов. // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология, 2011, 54 (9), 3.
13. *С.И. Филимонов, Ж.В. Чиркова, А.С. Данилова, В.Б. Лысков, И.Г. Абрамов, С.И. Фирганг, Г.А. Сташина.* Синтез новых замещенных 6,7-дициано-1,2,3,4-тетрагидрохиноксалин-2-онов. // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология, 2011, 54 (6), 21.
14. *И.Г. Абрамов, А.В. Смирнов, М.Б. Абрамова, Р.С. Бегунов, Л.С. Каландадзе, О.В. Смирнова, В.В. Плахтинский.* Гетероциклические дикарбонитрилы на основе 4-бром-5-нитрофталонитрила // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология, 2001, 44 (6), 134.

02.00.03

Р.М. Шленев, П.А. Агатьев, И.М. Слободянюк, А.В. Тарасов д.х.н.

Ярославский государственный технический университет,
химико-технологический факультет,
кафедра «Химическая технология органических веществ»,
Ярославль, shlenevxto-31@rambler.ru, tarasovav@ystu.ru

СИНТЕЗ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТИАЗОЛО-[3,2-a]-ХИНАЗОЛИН-5-ОНА НА ОСНОВЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХЛОРАНГИДРИДОВ ОРТО-ГАЛОГЕНАРОМАТИЧЕСКИХ КИСЛОТ С 2-АМИНОТИАЗОЛОМ

На основе ряда модельных хлорангидридов о-хлорбензойной, хлорникотиновой кислот и 2-аминотиазола изучена зависимость выхода в реакциях синтеза тиазоло-[3,2-a]-хиназолин-5-онов. Синтезирован ряд ранее не описанных в литературе соединений.

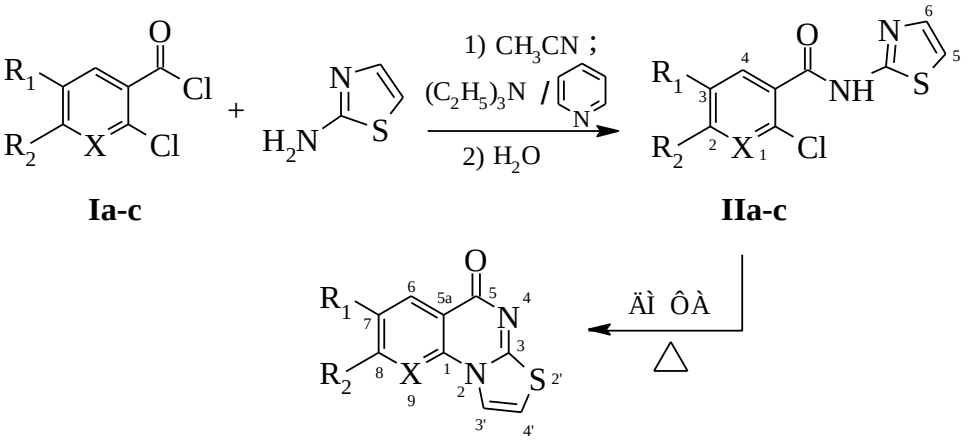
Ключевые слова: *2-аминотиазол, ароилирование, циклоконденсация, производные тиазоло-[3,2-a]-хиназолин-5-она.*

Одной из важных для химии азотсодержащих гетероциклических соединений задач является поиск новых эффективных подходов к синтезу производных хиназолинонов. Соединения данного класса проявляют широкий спектр биологически активных свойств, среди которых можно отметить: антимикробное, противовоспалительное [1, 2], противогрибковое [3], противоопухолевое [4], противосудорожное [5], диуретическое [6] и многие другие виды воздействий на живые организмы.

Несмотря на значительный объем имеющихся исследований, методы синтеза [a]- и [b]-аннелированных хиназолинонов в литературе освещены крайне слабо. Первые попытки восполнить этот пробел предприняты в работах [7], [8] и [9], в которых показано, что эффективным методом построения данных соединений является циклоконденсация продуктов взаимодействия 2-аминоазагетроциклов с полизамещенными *о*-галогенбензоилхлоридами. Одностадийный метод синтеза производных [b]-аннелированных хиназолин 4(3H)-онов обсуждается в работе [10]. Взаимодействие реагентов происходит при комнатной температуре в среде хлористого метилена и высокоосновного этилдиизопропиламина. Выходы продуктов достигают 40 %. В работе [11] сообщается о двухстадийном синтезе с выходом 70-80 % ряда тиазоло-, бензотиазоло- и бензимидазо-[3,2-a]-хиназолинонов на основе хлорангидридов полифторзамещенных бензойных кислот и соответствующих 2-аминогетероциклов. Первую стадию – ароилирование 2-аминогетероциклов предлагается проводить при нагревании в течение нескольких часов в среде толуола с использованием двукратного молярного избытка соответствующего бензоилхлорида. Циклоконденсацию полученных продуктов предлагается проводить в среде толуола, в присутствии триэтиламина, связывающего выделяющийся в ходе реакции хлороводород.

Целью настоящего исследования является изучение зависимости выхода в реакции синтеза новых производных тиазоло-[3,2-a]-хиназолин-5-онов на основе ряда модельных хлорангидридов замещенных бензойной и никотиновой кислот и 2-аминотиазола от наличия и положения в исходных соединениях функциональных групп, обладающих различной степенью влияния на ароматические системы.

В качестве исходных модельных соединений выбраны хлорангидриды 5-нитро-2,4-дихлорбензойной (**Ia**), 5-нитро-2-хлорбензойной (**Ib**) и 2-хлорникотиновой (**Ic**) кислот (рис. 1). Активирующее влияние заместителей на атом хлора в положении 2 в этих соединениях различно, что является удобным для оценки зависимости выхода промежуточных и конечных продуктов от строения субстратов.



Ia-c **IIa-c** **IIIa-c**

Рис. 1 – Общая схема синтеза:
Ia, IIa, IIIa: $R_1 = NO_2$, $R_2 = Cl$, X = CH;
Ib, IIb, IIIb: $R_1 = NO_2$, $R_2 = H$, X = CH;
Ic, IIc, IIIc: $R_1 = H$, $R_2 = H$, X = N

Реакция ароилирования хлорангидридов (**Ia-c**) с образованием амидов (**IIa-c**) достаточно легко протекает при комнатной температуре. В качестве реакционной среды в данном случае удобно использовать ацетонитрил, благодаря его хорошей растворяющей способности по отношению к реагентам. Для связывания выделяющегося в ходе реакции хлороводорода в зависимости от строения исходного хлорангидрида в реакционную смесь добавлялось эквимолярное количество пиридина (в случае **Ia** и **Ib**), либо двукратный молярный избыток триэтиламина (в случае **Ic**, поскольку соединение было синтезировано в форме гидрохлорида). В ходе реакции ацилированию помимо экзоциклической аминогруппы гетероциклического субстрата может также подвергаться атом азота, находящийся в цикле, поэтому для растворения образующихся солей и выделения продуктов (**IIa-c**) реакционная смесь разбавлялась 10-15 кратным объемом воды. Для стадии циклоконденсации полученных продуктов в качестве реакционной среды удобно использовать диметилформамид, в котором хорошо растворимы амиды (**IIa-c**) и в гораздо меньшей степени конечные тиазоло-[3,2-a]-хиназолин-5-оны (**IIIa-c**). Также реакцию в ДМФА можно проводить в широком диапазоне температур, вплоть до 150 °C. Целевые продукты получены в идентичных условиях (температура, время, концентрация).

Обсуждение результатов

Использование для синтеза амидов (**IIa-c**) в качестве реакционной среды смеси ацетонитрил-пиридин (триэтиламин) привело к выходам целевых продуктов, находящимся в интервале 70-80 %, что сопоставимо с результатами, представленными в работе [11], но позволяет сократить время реакции с двух часов в среднем до 15 минут. Во всех случаях удалось выделить и идентифицировать полученные соединения (**IIa-c**). В ^{1}H ЯМР спектрах амидов (**IIa-c**) зафиксированы сигналы (синглеты) протонов амидных фрагментов, находящиеся в очень сильном поле в интервале 12.8-12.97 м.д. (см. экспериментальную часть), а также характерные сигналы (дуплеты) протонов тиазольного фрагмента.

Анализ результатов циклоконденсации амидов (**IIa-c**) с образованием конечных тиазоло-[3,2-a]-хиназолин-5-онов (**IIIa-c**) показывает, что выходы продуктов подчиняются определенной закономерности. Общим свойством исходных продуктов (**IIa-c**) является наличие в их молекулах электроноакцепторных заместителей (-NO_2, -Cl) или общей электронодефицитности ядра. Исходя из механизма реакции, следует ожидать корреляции выхода продукта от степени активации атома галогена, находящегося в *орто*-положении относительно амидного фрагмента. Однако, эта зависимость имеет, по-видимому, более

сложный характер. Например, полученные выходы соединений **IIIa** (33 %) и **IIIb** (45 %) не согласуются с большей степенью активации атома хлора в соединении **IIa**. Во всех трех случаях из реакционной массы также частично выделены непрореагировавшие исходные продукты (**IIa-c**). В ^{1}H ЯМР спектрах соединений (**IIIa-c**) отсутствуют сигналы протонов, соответствующие амидным группировкам. Зафиксированы характерные сигналы (дуплеты) протонов, отвечающие атомам водорода тиазольного и ароматического ядер исходных соединений, положение соответствующих пиков смещается в область сильного поля по сравнению со спектрами соединений (**IIa-c**).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что подход основанный на циклоконденсации продуктов взаимодействия хлорангидридов ароматических кислот с 2-аминоазагетероциклами является эффективным для модификации [a]-аннелированных хиназолинонов различными функциональными заместителями и перспективен для дальнейшей разработки и совершенствования.

Экспериментальная часть

^{1}H ЯМР спектры записаны с использованием ЯМР-спектрометра Bruker DRX 400 (400,4 МГц). В качестве растворителя использована смесь ДМСО-d_6-CCl_4.

2,4-Дихлоро-5-нитро-N-тиазол-2-ил-бензамид (IIa). К навеске хлорангидрида 5-нитро-2,4-дихлорбензойной кислоты (0,5 г, 1,96 ммоль), растворенной в 5 мл ацетонитрила при комнатной температуре прибавляется эквимолярное количество 2-аминотиазола (0,197 г). Реакционная масса перемешивается до полного растворения реагентов. После этого к раствору прибавляется эквимолярное хлорангидриду количество пиридина (0,16 см^3). После выпадения осадка в реакционную смесь прибавляется 70 мл воды. Полученный продукт отфильтровывается и перекристаллизовывается из ледяной уксусной кислоты. Выход 0,434 г (69 %), $t_{пл}$ = 221-224 °C, ^{1}H ЯМР спектр, δ, м.д.: 7.36 д (1H, H(5), ^3J 3.8 Гц), 7.57 д (1H, H(6), ^3J 3.5 Гц), 8.21 с (1H, H(1)), 8.51 с (1H, H(4)), 12.93 с (1H, NH).

Соединение (**IIb**) получено аналогично.

2-Хлоро-5-нитро-N-тиазол-2-ил-бензамид (IIb). Выход 0,50 г (78 %); $t_{пл}$ = 230-232 °C; ^{1}H ЯМР спектр, δ, м.д.: 7.36 д (1H, H(5), ^3J 3.8 Гц), 7.57 д (1H, H(6) ^3J 3.8 Гц), 7.90 д (1H, H(1), ^3J 8.9 Гц), 8.36 дд (1H, H(2), ^3J 8.9 Гц, ^4J 2.9 Гц), 8.56 д (1H, H(4), ^4J 2.9 Гц), 12.97 с (1H, NH).

2-Хлоро-N-тиазол-2-ил-никотинамид (IIc). К навеске гидрохлорида хлорангидрида 2-хлорникотиновой кислоты (0,5 г, 2,35 ммоль), растворенной в 5 мл ацетонитрила при комнатной температуре прибавляется эквимолярное количество 2-аминотиазола (0,236 г). Реакционная масса перемешивается до полного растворения реагентов. После этого к раствору прибавляется двукратный (в расчете на хлорангидрид) молярный избыток триэтиламина (0,65 см^3). После выпадения осадка в реакционную смесь прибавляется 70 мл воды. Полученный продукт отфильтровывается и перекристаллизовывается из этанола. Выход 0,433 г (77 %), $t_{пл}$ = 210-212 °C, ^{1}H ЯМР спектр, δ, м.д.: 7.35 д (1H, H(5), ^3J 2.8 Гц), 7.56 д (1H, H(6), ^3J 2.8 Гц), 7.58 д (1H, H(3), ^3J 4.0 Гц), 8.12 дд (1H, H(4), ^3J 6.1 Гц, ^4J 1.5 Гц), 8.55 дд (1H, H(2), ^3J 2.5 Гц, ^4J 1.5 Гц), 12.8 с (1H, NH).

8-Хлоро-7-нитро-тиазоло-[3,2-a]-хиназолин-5-он (IIIa). 0,2 г (0,64 ммоль) 2,4-Дихлоро-5-нитро-N-тиазол-2-ил-бензамида растворяется в 1,5 см^3 предварительно осушенного ДМФА. Смесь выдерживается при температуре кипения в течение 2 ч. Продукт отфильтровывается, промывается ацетонитрилом, водой и перекристаллизовывается из ДМСО. Выход 0,055 г (31 %), $t_{пл}$ зафиксировать не удалось, ^{1}H ЯМР спектр, δ, м.д.: 7.48-7.50 д (1H, H(4`), $^3J$ 4.8 Гц), 8.56 д (1H, H(3`), ^3J 4.8 Гц), 8.69 с (1H, H(9)), 8.72 с (1H, H(6)).

Соединения (**IIIb, IIIc**) получены аналогично.

7-нитро-тиазоло-[3,2-a]-хиназолин-5-он (IIIb). Выход 0,079 г (45 %); $t_{пл}$ = 356-358 °C; ^{1}H ЯМР спектр, δ, м.д.: 7.49 д (1H, H(4`), $^3J$ 4.8 Гц), 8.43 д (1H, H(9), $^3J$ 9.2 Гц), 8.57 д (1H, H(3`), ^3J 4.8 Гц), 8.65 дд (1H, H(8), ^3J 9.2 Гц, ^4J 2.6 Гц) 8.8 с (1H, H(6) ^4J 2.6 Гц).

3-Тиа-4,9,9b-триаза-циклопента-[a]-нафталин-5-он гидрохлохрид (IIIc). Выход 0,079 г (41 %); $t_{пл}$ = 281-283 °С; ^{1}Н ЯМР спектр, δ, м.д.: 7.37 д (1Н, Н(4`), $^3J$ 4.9 Гц,), 7.7 т (1Н, Н(7), $^3J$ 4.4 Гц, $^3J$ 4.4 Гц, $^4J$ 3.1 Гц), 8.35 д (1Н, Н(3`), ^3J 4.9 Гц), 8.53 дд (1Н, Н(6), ^3J 8.0 Гц, ^4J 1.8 Гц), 8.87 дд (1Н, Н(8), ^3J 4.9 Гц, ^4J 1.8 Гц).

Список литературы

1. *Connolly, D.J.* Synthesis of quinazolinones and quinazolines / D.J. Connolly, D. Cusack, T.P. O'Sullivan, P.J. Guiry // Tetrahedron. – 2005. № 61. – P. 10153-10202.
2. *Nanthakumar, R.* Anti-inflammatory and antibacterial activity study of some novel quinazolinones / R. Nanthakumar, P. Muthumani, K. Girija // Arabian Journal of Chemistry. – 2011.
3. *Rajput, C.S.* Synthesis and antifungal activity of newer substituted quinazolinones / C.S. Rajput, S. Kumar, A. Kumar // International Journal of ChemTech Research. – 2010. Vol.2, № 3. – P. 1653-1660.
4. *Cao, S.L.* Synthesis and in vitro antitumor activity of 4(3H)-quinazolinone derivatives with dithiocarbamate side chains / S.L. Cao, Y.P. Feng, Y.Y. Jiang, S.Y. Liu., G.Y. Ding, R.T. Li. // Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters. – 2005. № 15. – P. 1915-1917.
5. *Jatav, V.* CNS depressant and anticonvulsant activities of some novel 3-[5-substituted 1,3,4-thiadiazole-2-yl]-2-styryl quinazoline-4(3H)-ones / V. Jatav, P. Mishra, S. Kashaw, J.P. Stables // European Journal of Medicinal Chemistry. –2008. – № 43. – P. 1945-1954
6. *Maarouf, A.R.* Synthesis and Evaluation of some Novel Quinazolinone Derivatives as Diuretic Agents / A.R. Maarouf, E.R. El-Bendarya, F.E. Godab // Arch. Pharm. Med. Chem. – 2004. № 337. – P. 527-532
7. *Носова, Э.В.* Фторсодержащие пиридо[1,2-a]хиназолин-6-оны / Э.В. Носова, Г.Н. Липунова, М.И. Кодесс, П.В. Васильева, В.Н. Чарушин // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2004. № 10. – С. 2216-2220.
8. *Лаева, А.А.* Фторарены в синтезе бензоаннелированных азотсодержащих гетероциклов / А.А. Лаева, Э.В. Носова, Г.Н. Липунова, В.Н. Чарушин // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2008. № 5. – С. 931-966.
9. *Носова, Э.В.* Фторсодержащие хиназолины, их окса- и тиааналоги: синтез и биологическая активность / Э.В. Носова, Г.Н. Липунова, В.Н. Чарушин // Успехи химии. – 2009. Том 78, № 5. – С 421-441.
10. *Deetz M.J.* One-step synthesis of 4(*3H*)-quinazolinones / M.J. Deetz, J.P. Malerich, A.M. Beatty, B.D. Smith // Tetrahedron Letters. – 2001. – № 42. – P. 1851-1854.
11. *Носова Э.В.* Фторсодержащие гетероциклы: XIII. Фторсодержащие производные тиазоло[3,2-a]-, бензотиазоло[3,2-a]- и бензимидазо[3,2-a]-хиназолинонов // Журнал органической химии. – 2005. – Т. 41, № 11. – С. 1705-1711.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.13.15

Е.В. Агалаков, О.В. Караваева, Д.А. Страбыкин д.т.н.

Вятский государственный университет,
Факультет автоматики и вычислительной техники,
Кафедра электронных вычислительных машин,
г. Киров, strabykin@mail.ru, karavaeva@vyatsu.ru, agalakove@gmail.com

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИИ ИЗ ЗАДАННОЙ ФАЗЫ

В статье предложен логический метод прогнозирования развития ситуации из заданной фазы, представлены формальные описания задачи предсказания траектории развития ситуации из заданной фазы и соответствующей ей задачи дедуктивного логического вывода с построением схемы прогноза. Применение метода проиллюстрировано на примере с использованием исчисления высказываний.

Ключевые слова: *прогнозирование развития ситуации, фаза развития ситуации, заданная фаза, схема логического вывода, предсказание траектории, общий прогноз.*

Методы и средства искусственного интеллекта внедряются сегодня в самые различные сферы человеческой деятельности. Составной частью многих видов деятельности является прогнозирование. Научное прогнозирование опирается на математические модели и методы. Развиваются методы прогнозирования на основе моделей и методов искусственного интеллекта, в частности, логических моделей знаний и методов логического вывода [1]. В этой связи представляет интерес логическое прогнозирование развития ситуаций на основе дедуктивного вывода [2].

Постановка задачи

Формальное описание задачи (P^+) определяется следующим образом: $P^+=<m^C,m^S,n,r>$, где m^C – множество новых событий; m^S – множество текущих событий и ситуаций с отношениями между ними; n – начальная (заданная) фаза (состояние) развития ситуации; r – множество результатов прогнозирования, которое может содержать схему логического прогнозирования S, а также прогнозируемые в последующий момент времени фазы (состояния) m^1 и последовательности фаз (состояний) m^L.

Задача логического прогнозирования формулируется как задача предсказания траекторий (траектории) развития ситуации, находящейся в заданной фазе.

Описание развития ситуаций с помощью исчисления высказываний и исчисления предикатов позволяет перейти к формальной постановке задачи логического прогнозирования как задач логического вывода. Формальное описание задачи D^+ определения следствий из заданных утверждений (фактов) x (здесь $x=X_1X_2\ldots X_i\ldots X_I$, $X_i \in m_X$ представляет начальную фазу развития ситуации), соответствующей задаче логического прогнозирования P^+, можно представить следующим образом: $D^+=<M^F[t],M^P,x,R>$, где $M^F[t]$ – множество фактов, поступивших на шаге t (предполагается, что $M^F[t]$ и M^P образуют непротиворечивое множество, первоначально t=0 и $M^F[0]=\varnothing$); M^P – множество текущих фактов и правил; x – начальные утверждения; R – множество результатов логического вывода, содержащее: схему логического вывода S (используемую в качестве схемы прогнозирования), литералы высказываний (фаз, состояний), непосредственно следующих из фактов текущего шага M^1 и последовательности литералов высказываний (фаз, состояний)

M^L. Все посылки представляются в виде дизъюнктов.

Метод прогнозирования развития ситуации

В процессе логического прогнозирования развития ситуации из заданной фазы используется метод вывода следствий с построением схемы логического вывода [3]. Результатом логического вывода является семейство множеств следствий $s^H=\{s_1,\ldots,s_h,\ldots,s_H\}$, в котором множество следствий s_h с глубиной логического вывода h=1,…,H состоит из утверждений, являющихся логическими следствиями множества посылок M'^h ($M'^h \subseteq M^P$) и утверждений множества s_{h-1}: $s_{h-1}, M'^h \Rightarrow s_h$ и $s_0=M^F \cap m_X$. Схема логического вывода описывается множеством литералов с параметрами: $S=\{L(j,k);\ L \in A,\ j,k \in N\}$, где L – литерал из множества A различных литералов, используемых в посылках; N – номер посылки (дизъюнкта); j – номер посылки, из вершины которой на схеме выходит, а k – номер посылки, в вершину которой входит дуга, помеченная литералом L. Параметр j называется левым, а k – правым номером литерала L. Прогноз осуществим, если успешен дедуктивный логический вывод множества конечных следствий m_Z: $m_X, M^P \Rightarrow m_Z$. Следствие считается конечным, если из него не следует ни одно утверждение.

На основании схемы логического вывода формируется множество ветвей, представляющих различные способы вывода конечных следствий из начальных утверждений x и исходных посылок. Для множества S литералов, описывающих схему логического вывода, множества начальных утверждений и множества конечных следствий определяется семейство множеств литералов $S''=\{g^1,\ldots,g^k,\ldots,g^K\}$, состоящее из множеств g^k литералов, описывающих ветви логического вывода конечных следствий из начальных утверждений.

Для оценки успешности прогноза выделяются множества следующих видов литералов схемы логического вывода: m^+ – прогнозировались и подтвердились; m^- – прогнозировались и на данном шаге не подтвердились.

Кроме того, построенная первоначально схема S сохраняется, а выделенные в ней ветви вывода на каждом шаге в случае успешного прогноза сокращаются путем исключения из описания ветвей литералов, совпадающих с новыми поступившими фактами. При этом образуются последовательности описаний ветвей схемы, которые превращаются в пустые множества после удаления литералов, соответствующих конечной фазе развития ситуации.

Условия завершения процесса прогнозирования определяет признак P: P=0 – завершен успешно; P=1 – завершен неудачно в связи с не успешностью логического вывода; P=2 – завершен неудачно в связи с поступлением факта, который не был спрогнозирован; P=3 – завершен в связи с прекращением поступления новых фактов.

В процессе прогнозирования выполняются следующие действия.

1. Решается задача дедуктивного вывода следствий с построением схемы логического вывода [3]. Если вывод завершается неудачно, то принимается P=1 и выполняется п. 8. В противном случае строится схема успешного логического вывода S. По схеме для множества начальных утверждений m_X и множества конечных следствий m_Z формируются ветви логического вывода: $G[0]=\{g^1[0],\ldots,g^k[0],\ldots,g^K[0]\}$, где G[0] – семейство множеств литералов, в котором множество литералов $g^k[0]$, описывает k-ю ветвь вывода, представляющую первоначально определенный долгосрочный прогноз.

2. Определяется общий прогноз на первый шаг, представляющий собой множество литералов m_X начальных утверждений, к которому добавляются литералы фактов m_F из множества S: $M^1[0]=m_X \cup m_F$. Формируются прогнозы по каждой ветви $M^{1k}[0]=M^1[0] \cap g^k[0]$ (k=1,…,K).

3. Принимается множество $M^F[t]$ новых поступивших фактов. Если во множестве $M^F[t]$ есть факт, который не был спрогнозирован: $M^F[t]-M^1[t-1] \neq \varnothing$, то прогнозирование завершается неудачно. В этом случае принимается P=2 и выполняется п. 8, иначе – следующий пункт.

4. Проверяется успешность прогноза по каждой ветви и в целом.

А) Проверка условия успешности прогноза по ветви. По каждой ветви $g^k[t-1]$ (k=1,…K) выполняется сравнение литералов множества фактов $M^F[t]$ и множества литералов, спрогнозированных по данной ветви ранее $M^{1k}[t-1]$. Прогноз по k-й ветви считается успешным, если хотя бы один из предсказанных на предыдущем шаге литералов ветви совпадает с литералом хотя бы одного поступившего факта: $m^{+k}[t]=M^F[t]\cap M^{1k}[t-1]\neq\varnothing$ и все литералы поступивших фактов содержатся во множестве литералов ветви: $M^F[t]-g^k[t-1]=\varnothing$. Множества $g^k[t-1]$ литералов ветвей, по которым прогноз не был успешным, исключаются из семейства G[t]. Если в результате будут исключены все ветви (G[t]=∅), то принимается P=2 и выполняется п. 8, иначе анализируется успешность прогноза в целом.

Б) Проверка условия успешности прогноза в целом. Прогноз в целом считается успешным, если все поступившие факты были спрогнозированы: $M^F[t]-(m^{+1}[t]\cup\ldots\cup m^{+K}[t])=\varnothing$. Если условие не выполняется, то принимается P=2 и выполняется п. 8, иначе – следующий пункт.

5. Определяются прогнозируемые высказывания (состояния, фазы ситуации) $M^l[t]$, которые ожидаются на следующем шаге.

Формируется прогноз на следующий шаг по каждой ветви, на основе множества литералов $N^{lk}[t]$. Литерал L(j,x) ветви $g^k[t-1]$ включается во множество $N^{lk}[t]$ если выполняются два условия: а) левый номер j литерала L(j,x) совпадает с правым номером литерала L′(y,j) множества $m^{+k}[t]$; б) в ветви $g^k[t-1]$ нет литерала L′′(y,j) который не входит во множество $m^{+k}[t]$, но имеет правый номер j, совпадающий с левым номером литерала L(j,x).

Окончательный прогноз по каждой ветви $M^{lk}[t]$ формируется путем добавления к полученному множеству $N^{lk}[t]$ множества литералов $m^{-k}[t]$ предыдущего прогноза, которые не были подтверждены поступившими новыми фактами: $M^{lk}[t]=N^{lk}[t]\cup m^{-k}[t]$, $m^{-k}[t]=M^{lk}[t-1]-M^F[t]$ (k=1,…,K). Общий прогноз на следующий шаг определяется путем объединения прогнозов по всем ветвям: $M^l[t]=M^{l1}[t]\cup\ldots\cup M^{lk}[t]\cup\ldots\cup M^{lK}[t]$.

6. Корректируются долгосрочные прогнозы. Формируются новые множества литералов ветвей. Для каждой ветви литералы множества $m^{+k}[t]$ (литералы прогнозировались и подтвердились) исключаются из множества литералов ветви: $g^k[t]=g^k[t-1]-m^{+k}[t]$. Если при исключении литералов окажется, что $g^k[t]=\varnothing$, то прогнозирование по k-й ветви считается завершенным и множество литералов $g^k[t]$ исключается из семейства G[t]. При этом в семействе множеств G[0] множество $g^k[0]$, которое описывает исходную ветвь долгосрочного прогноза, подтвердившегося в процессе развития ситуации, отмечается символом «+»:$g^{k+}[0]$. Если $g^k[t]=\varnothing$, то принимается P=0 (прогнозирование успешно завершается) и осуществляется переход к п. 8, иначе – к следующему пункту.

7. Осуществляется переход к следующему шагу. Значение шага t увеличивается на единицу и проверяется поступление новых фактов $M^F[t]$. Если новых фактов нет, то принимается P=3 (процесс прогнозирования завершен в связи с прекращением поступления новых фактов) и осуществляется переход к п. 8, иначе – к п. 3.

8. Конец. Прогнозирование завершается.

Переход в методе к следующему шагу соответствует переходу ситуации в новую фазу. При этом происходит сравнение ранее спрогнозированной фазы и фактически наступившей. В случае их несовпадения прогноз на последующее развитие ситуации может быть выполнен с помощью нового логического вывода, учитывающего факты, которые не были спрогнозированы, но поступили.

Метод прогнозирования развития ситуации из заданной фазы имеет много общего с методом прогнозирования развития ситуации от начальной до конечной фазы [4]. Основное различие методов состоит в том, что в первом методе используется логический вывод следствий, а во втором – логический вывод заключений. Это различие проявляется в содержании первых двух пунктов описания методов.

Рассмотрим прогнозирование на примере задачи, для представления знаний в которой используется исчисление высказываний. Предположим, что формальное описание задачи логического вывода имеет следующий вид $D^+=<M^F[t],M^P,x,R>$. Исходное множество фактов

$M^F[t]=\varnothing$. Исходное множество посылок M^P:

1) B→C; 2) C→A; 3) A→H; 4) FUH→I; 5) IS→L;
6) VI→K; 7) CR→J; 8) VJ→Z; 9) K→L; 10) YE→L;
11) 1→U; 12) 1→P 13) 1→V; 14) 1→F; 16) 1→S;
17) 1→R; 18) 1→Y; 19) 1→E.

При представлении посылок в виде дизъюнктов, литералы которых содержат параметры, получаем: $D_1=B(+,1)\vee C(1,+)$; $D_2=C(+,2)\vee A(2,+)$; $D_3=A(+,3)\vee H(3,+)$; $D_4=F(+,4)\vee U(+,4)\vee H(+,4)\vee I(4,+)$; $D_5=I(+,5)\vee S(+,5)\vee L(5,+)$; $D_6=V(+,6)\vee I(+,6)\vee K(6,+)$; $D_7=C(+,7)\vee R(+,7)\vee J(7,+)$; $D_8=V(+,8)\vee J(+,8)\vee Z(8,+)$; $D_9=K(+,9)\vee L(9,+)$; $D_{10}=Y(+,10)\vee E(+,10)\vee L(10,+)$; $D_{11}=U(11,+)$; $D_{12}=P(12,+)$; $D_{13}=V(13,+)$; $D_{14}=F(14,+)$; $D_{16}=S(16,+)$; $D_{17}=R(17,+)$; $D_{18}=Y(17,+)$; $D_{19}=E(19,+)$;.

Начальное утверждение x=B. При представлении x в виде дизъюнкта, литералы которого содержат параметры, получаем $d_0=B(0,+)$, $m_X,=\{d_0\}$. Множество решений $R=\{S,M^1,M^L\}$. Первоначально t=0.

В процессе прогнозирования выполняются следующие действия.

Шаг 1.

1. Решается задача дедуктивного логического вывода $m_X,M^P\Rightarrow m_Z$ с построением схемы вывода. Вывод успешен. В процессе вывода определяется множество конечных следствий $m_Z=\{L(5,+),L(9,+),Z(8,+)\}$, где «+» – символ неопределённого параметра литерала. Поскольку вывод успешен, то строится схема логического вывода S (рис. 1). Схема описывается множеством литералов с параметрами S={B(0,1),C(1,2),C(1,7),A(2,3),H(3,4),F(14,4), U(11,4),I(4,5),S(16,5),L(5,+),R(17,7),J(7,8),V(13,6),Z(8,+),V(13,8),I(4,6), K(6,9), L(9,+)}. Вершины, соответствующие неопределённым параметрам («+») литералов, на схеме не отображаются.

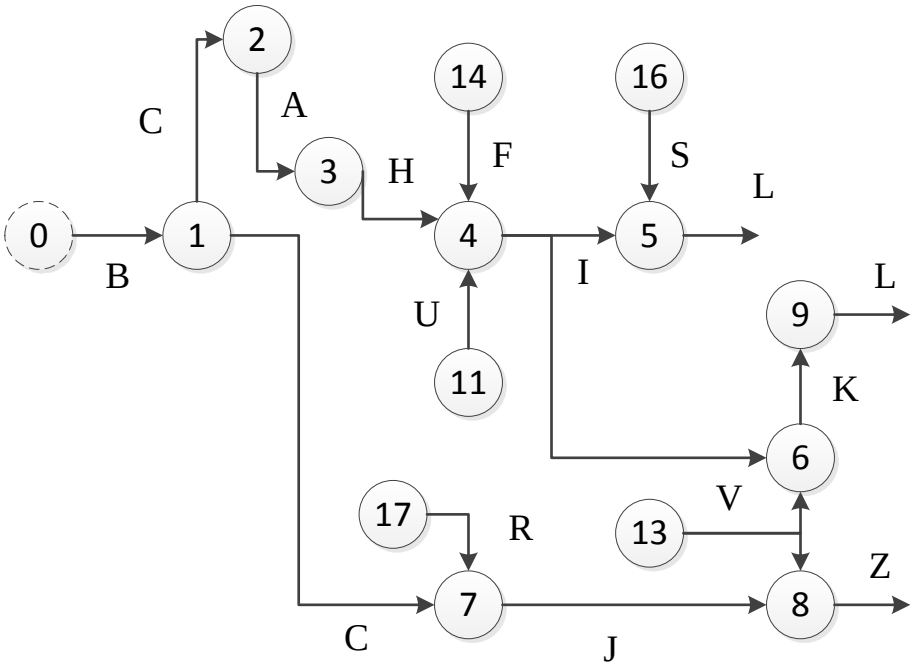


Рис. 1 – Схема логического вывода

По схеме для множества начальных утверждений m_X и множества конечных следствий m_Z формируются ветви логического вывода: $G[0]=\{g^1[0],g^2[0],g^3[0]\}$, где $g^1[0]=\{B(0,1),C(1,2),A(2,3),H(3,4),F(14,4),U(11,4),I(4,5),S(16,5),L(5,+)\}$, $g^2[0]=\{B(0,1),C(1,2),A(2,3),H(3,4),F(14,4),U(11,4),I(4,6),V(13,6),K(6,9),L(9,+)\}$, $g^3[0]=\{B(0,1),C(1,7),R(17,7),J(7,8),V(13,8),Z(8,+)\}$ (иногда для краткости параметры у литералов не будут отмечены, в случае необходимости они всегда могут быть восстановлены).

2. Определяется общий прогноз на первый шаг, представляющий собой множество литералов $m_X=\{B(0,1)\}$ к которому добавляются литералы фактов $m_F=\{R,V,U,F,S\}$ из множества S: $M^1[0]=m_X \cup m_F$. Таким образом, $M^1[0]=\{B,R,V,U,F,S\}$. Формируются прогнозы по каждой ветви $M^{1k}[0]=M^1[0] \cap g^k[0]$ (k=1,2,3). $M^{11}[0]=\{B,U,F,S\}$, $M^{12}[0]=\{B,U,F,V\}$, $M^{13}[0]=\{B,R,V\}$.

3. Принимается множество новых фактов, предположим что $M^F[1]=\{B\}$. Поскольку во множестве $M^F[1]$ нет фактов, которые не были спрогнозированы: $M^F[1]-M^l[0]=\varnothing$, то выполняется следующий шаг.

4. Проверяется успешность прогноза по каждой ветви и в целом.

А) Для ветви $g^1[0]$ получаем: $m^{+1}[1]=M^F[1] \cap M^{11}[0]=\{B\}\neq\varnothing$, $M^F[1]-g^1[0]=\varnothing$. Очевидно, что прогнозы по ветвям $g^2[0]$ и $g^3[0]$ также успешны.

Б) Прогноз в целом успешный, так как $M^F[1]-(m^{+1}[1] \cup m^{+2}[1] \cup m^{+3}[1])=\varnothing$, поэтому выполняется следующий пункт.

5. Определяются прогнозируемые высказывания (состояния, фазы ситуации) $M^l[1]$, которые ожидаются на следующем шаге.

Формируется прогноз на следующий шаг по каждой ветви. Литералы $N^{lk}[1]$ ветви $g^k[0]$, левые номера которых совпадают с правыми номерами литералов $m^{+k}[1]$ ($m^{+k}[1]=\{B(0,1)\}$, k=1,2,3), образуют основу прогноза на следующий шаг: $N^{l1}[1]=\{C(1,2)\}$, $N^{l2}[1]=\{C(1,2)\}$, $N^{l3}[1]=\{C(1,7)\}$.

Окончательный прогноз по каждой ветви $M^{lk}[1]$ формируется путем добавления к полученному множеству $N^{lk}[1]$ множества литералов $m^{-k}[1]$ предыдущего прогноза, которые не были подтверждены поступившими новыми фактами $M^{lk}[1]=N^{lk}[1] \cup m^{-k}[1]$, $m^{-k}[1]=M^{lk}[0]-M^F[1]$ (k=1,1,3): $M^{l1}[1]=\{C\} \cup \{U,F,S\}=\{C,U,F,S\}$; $M^{l2}[1]=\{C\} \cup \{U,F,V\}=\{C,U,F,V\}$; $M^{l3}[1]=\{C\} \cup \{R,V\}=\{C,R,V\}$. Общий прогноз $M^l[1]$ на следующий шаг определяется путем объединения прогнозов по всем ветвям. В данном случае $M^l[1]=\{C,U,F,S\} \cup \{C,U,F,V\} \cup \{C,R,V\}=\{C,R,V,U,F,S\}$.

6. Корректируются долгосрочные прогнозы. Формируются новые множества литералов ветвей. Для всех ветвей литералы множеств $m^{+k}[1]$ (литералы прогнозировались и подтвердились) исключаются из множества литералов ветвей: $g^1[1]=g^1[0]-m^{+1}[1]=\{C,A,H,F,U,I,S\}$; $g^2[1]=g^2[0]-m^{+2}[1]=\{C,A,H,F,U,I,S,V,K\}$; $g^3[1]=g^3[0]-m^{+3}[1]=\{C,R,V,J\}$. Поскольку $g^k[1]\neq\varnothing$ (k=1,2,3), то осуществляется переход к следующему пункту.

7. Осуществляется переход к следующему шагу. Проверяется наличие в семействе G[1] множеств литералов, описывающих ветви. Так как $G[1]\neq\varnothing$, то значение шага t увеличивается на единицу (t=2) и проверяется поступление новых фактов $M^F[2]$. Предположим, что $M^F[2]=\{C\}$, тогда выполняется п. 3 следующего шага прогнозирования.

Шаг 2

3. Принимается множество новых фактов $M^F[2]=\{C\}$. Так как во множестве $M^F[2]$ нет фактов, которые не были спрогнозированы: $M^F[2]-M^l[1]=\varnothing$, то выполняется следующий пункт.

4. Проверяется успешность прогноза по каждой ветви и в целом.

А) Для ветви $g^1[1]$ получаем: $m^{+1}[2]=M^F[2] \cap M^{11}[0]=\{C\}\neq\varnothing$, $M^F[2]-g^1[1]=\varnothing$. Очевидно, что прогнозы по ветвям $g^2[1]$ и $g^3[1]$ также успешны.

Б) Прогноз в целом успешный, так как $M^F[2]-(m^{+1}[2] \cup m^{+2}[2] \cup m^{+3}[2])=\varnothing$, поэтому выполняется следующий пункт.

5. Определяются прогнозируемые высказывания (состояния, фазы ситуации) $M^l[2]$, которые ожидаются на следующем шаге.

Формируется прогноз на следующий шаг по каждой ветви. Литералы $N^{lk}[2]$ ветви $g^k[1]$, левые номера которых совпадают с правыми номерами литералов $m^{+k}[2]$ k=1,2,3 ($m^{+1}[2]=m^{+2}[2]=\{C(1,2)\}$, $m^{+3}[2]=\{C(1,7)\}$), образуют основу прогноза на следующий шаг: $N^{l1}[2]=N^{l2}[2]=\{A(2,3)\}$, $N^{l3}[2]=\{J(7,8)\}$.

Окончательный прогноз по каждой ветви $M^{lk}[2]$ формируется путем добавления к полученному множеству $N^{lk}[2]$ множества литералов $m^{-k}[2]$ предыдущего прогноза, которые не были подтверждены поступившими новыми фактами $M^{lk}[2]=N^{lk}[2]\cup m^{-k}[2]$, $m^{-k}[2]=M^{lk}[1]-M^{F}[2]$ (k=1,1,3): $M^{l1}[2]=\{A\}\cup\{U,F,S\}=\{A,U,F,S\}$; $M^{l2}[2]=\{A\}\cup\{U,F,V\}=\{A,U,F,V\}$; $M^{l3}[2]=\{J\}\cup\{R,V\}=\{J,R,V\}$. Общий прогноз $M^{l}[1]$ на следующий шаг определяется путем объединения прогнозов по всем ветвям: $M^{l}[2]=\{A,U,F,S\}\cup\{A,U,F,V\}\cup\{J,R,V\}=\{A,J,U,F,S,R,V\}$.

6. Корректируются долгосрочные прогнозы. Формируются новые множества литералов ветвей. Для всех ветвей литералы множеств $m^{+k}[2]$ (k=1,2,3) исключаются из множества литералов ветвей: $g^{1}[2]=g^{1}[1]-m^{+1}[2]=\{A,H,F,U,I,S\}$; $g^{2}[2]=g^{2}[1]-m^{+2}[2]=\{A,H,F,U,I,S,V,K\}$; $g^{3}[2]=g^{3}[1]-m^{+3}[2]=\{R,V,J\}$. Поскольку $g^{k}[2]\neq\varnothing$ (k=1,2,3), то выполняется следующий пункт.

7. Осуществляется переход к следующему шагу. Проверяется наличие в семействе G[2] множеств литералов, описывающих ветви. Так как $G[2]\neq\varnothing$, то значение шага t увеличивается на единицу (t=3) и проверяется поступление новых фактов $M^{F}[3]$. Предположим, что $M^{F}[2]=\{A,F,U\}$, тогда выполняется п. 3 следующего шага прогнозирования.

Процесс логического прогнозирования в данном примере требует семь шагов. Поступающие на каждом шаге новые факты $M^{F}[t]$, общие прогнозы на следующий шаг $M^{1}[t]$ и долгосрочные прогнозы по каждой ветви $g^{k}[t]$ (t=1,2,3,4,5,6,7) приведены в таблице.

Таблица – Прогнозирование по шагам

t	$M^{F}[t]$	$M^{1}[t]$	$g^{k}[t]$
0	-	{B,U,F,S,R,V}	$g^{1}[0]=\{B,C,A,H,F,U,I,S,L\}$, $g^{2}[0]=\{B,C,A,H,F,U,I,V,K,L\}$, $g^{3}[0]=\{B,C,R,V,J,Z\}$
1	{B}	{C,U,F,S,R,V}	$g^{1}[1]=\{C,A,H,F,U,I,S,L\}$, $g^{2}[1]=\{C,A,H,F,U,I,V,K,L\}$, $g^{3}[1]=\{C,R,J,V,Z\}$
2	{C}	{A,J,U,F,S,R,V}	$g^{1}[2]=\{A,H,F,U,I,S,L\}$, $g^{2}[2]=\{A,H,F,U,I,V,K,L\}$, $g^{3}[2]=\{R,J,V,Z\}$
3	{A,F,U}	{H,S,V}	$g^{1}[3]=\{H,I,S,L\}$, $g^{2}[3]=\{H,I,V,K,L\}$,
4	{H}	{I,S,V}	$g^{1}[4]=\{I,S,L\}$, $g^{2}[4]=\{I,V,K,L\}$
5	{I,V}	{S,K}	$g^{1}[5]=\{S,L\}$, $g^{2}[5]=\{K,L\}$
6	{K}	{S,L}	$g^{1}[6]=\{S,L\}$, $g^{2}[6]=\{L\}$
7	{L}	{S}	$g^{1}[7]=\{S,L\}$, $g^{2}[7]=\varnothing$

На третьем шаге не поступает спрогнозированный по третьей ветви факт J, поэтому ветвь из дальнейшего прогнозирования исключается. На седьмом шаге подтверждается спрогнозированный на предыдущем шаге факт L. Данный факт оказывается единственным в долгосрочном прогнозе $g^{2}[6]=\{L\}$, поэтому прогноз на следующий шаг $g^{2}[7]=\varnothing$. Так как $g^{2}[7]=\varnothing$, то прогнозирование по 2-й ветви считается завершенным и множество литералов $g^{2}[7]$ исключается из семейства G[7]. При этом в семействе множеств G[0] множество $g^{2}[0]$, которое описывает исходную ветвь долгосрочного прогноза, подтвердившегося в процессе развития ситуации, отмечается символом «+»:$g^{2+}[0]$. Поскольку $g^{2}[7]=\varnothing$, то принимается P=0 и осуществляется переход к п. 8 – прогнозирование успешно завершается.

Заключение

Предложенный метод логического прогнозирования развития ситуации позволяет строить схему прогнозирования начиная с любой фазы. Метод учитывает возможность отсутствия прогнозируемых фактов на отдельных шагах прогнозирования, что соответствует идее прогнозирования реальных ситуаций с некоторой степенью неопределенности, например,

принятия решения из определенного списка решений. Метод можно использовать для анализа различных путей развития ситуации в зависимости от начальных фактов. Метод применим для любой области знаний, формально описанной с помощью исчисления высказываний.

Список литературы

1. *Вагин В.Н.* Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин, Е.Ю. Головина, А.А. Загорянская, М.В. Фомина. – 2-е изд., испр. и доп. / под ред. В.Н. Вагина и Д.А. Поспелова. – М. : Физматлит, 2008. – 712 с.
2. *Страбыкин Д.А., Томчук М.Н.* Логическое прогнозирование развития ситуаций на основе дедуктивного вывода// Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 276–283.
3. *Агалаков Е.В., Страбыкин Д.А., Томчук М.Н.* Метод параллельного логического вывода следствий для исчисления высказываний // Программные продукты и системы. 2012. № 2. С. 137–139.
4. *Долженкова М.Л., Страбыкин Д.А.* Логический метод прогнозирования развития ситуации от начальной до конечной фазы // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 144–151.

05.07.02

В.И. Ампилов, А.А. Лестева

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
Москва, via69@mail.ru, alekslesteva@gmail.com

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ОБУЧЕНИЯ В СРЕДЕ SOLIDWORKS ENTERPRISE PDM

Статья посвящена вопросам разработки прикладной системы для молодых специалистов промышленного предприятия, использующих систему управления данными об изделии (PDM). Система имеет методические компоненты, необходимые для освоения процедур создания конструкторских и технологических документов. Приводится краткая аннотация разработанной системы на примере конкретных деталей.

Ключевые слова: *методические компоненты, конструкторская и технологическая документация, детали.*

Все более популярной становится аббревиатура PDM (Product Data Management). Это объясняется тем, что опытно-конструкторские бюро и предприятия авиа и ракетостроения ощущают острую необходимость комплексного подхода в автоматизации процессов проектирования и технологической подготовки производства в рамках существующих и перспективных CAD/CAM/CAE систем. PDM – системы выступают в двух основных ипостасях: средством соединения данных на протяжении жизненного цикла изделия; рабочей средой специалистов.

Система управления данными об изделии (PDM)– организационно – техническая система, обеспечивающая управление всей информацией о разрабатываемой сложной технической системе. PDM – системы включают в себя:

- управление инженерными данными (engineering data management – EDM);
- управление документами; управление информацией об изделии (product information management – PIM);
- управление техническими данными (technical data management – TDM);
- управление технической информацией (technical information management – TIM);
- управление изображениями и манипулирование информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие.

Главное предназначение PDM – систем – управление информацией и облегчение доступа к данным об изделии на протяжении всего его жизненного цикла. Положительный эффект достигается благодаря возможности объединить все данные об изделии в единую логическую систему. В результате такого объединения все, кто принимает участие в разработке изделия, получают распределенный авторизованный доступ к проектной информации и управлению процессами проектирования. Наиболее распространённые задачи, которые можно решить при помощи PDM – систем, следующие:

- создание электронного архива чертежей и другой технической документации;
- создание единого информационного пространства для всех сотрудников, принимающих участие в разработке жизненного цикла изделия;
- автоматизация внесения изменений в конфигурацию изделия;
- приведение всех данных о продукте к международным стандартам качества серии ISO 9000.

Одной из основных кадровых проблем предприятий является интеграция молодых специалистов в производственный процесс. PDM – системы частично решают эту проблему.

При ее использовании новые сотрудники не нуждаются в долговременном входе в курс дел. Достаточно в процессе работы находиться в PDM – системе предприятия, в которой оперативно отображается вся информация относительно изделий, можно осуществлять управление хранением документов и других данных, отслеживать и управлять процессами, применять календарное планирование работ и многое другое. Однако, возникает другая проблема: на стадии создания сопровождающей технической документации необходимо понимать, какими принципами следует руководствоваться.

PDM – tutor – система подготовки технической документации может помочь как молодым специалистам на предприятии, так и студентам технических специальностей. Расширенный доступ к разработанной системе осуществляется посредством интернет через онлайн оболочку. Это дает дополнительное преимущество над встроенными системами, так как доступ к ней осуществляется на любом компьютере, подсоединенном к сети интернет. Ограниченный доступ предоставляется непосредственно через PDM – систему, в нашем случае, это SolidWorks Enterprise PDM.

Теоретическая часть PDM – tutor базируется на классификации машиностроительных деталей [1]. Изучать чертежи деталей удобнее всего, распределив их по некоторым общим признакам. В настоящее время разработано несколько классификаций деталей машин по различным признакам. Детали можно распределять так, как представлено на рис. 1.

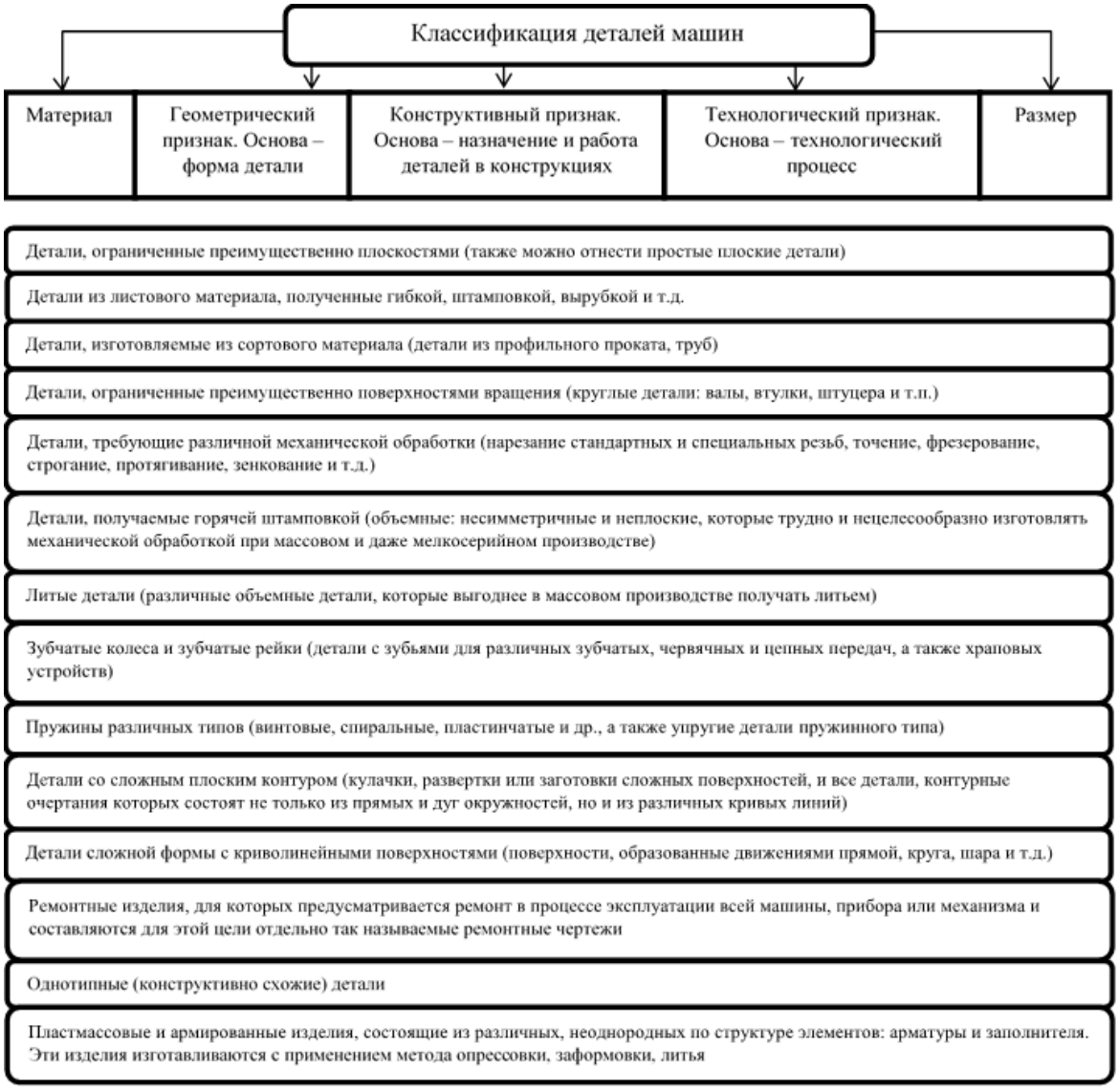


Рис. 1 – Классификация деталей

В качестве одной из групп рассмотрены детали, изготавливаемые литьем. Технологически виды литья представлены на рис.2.

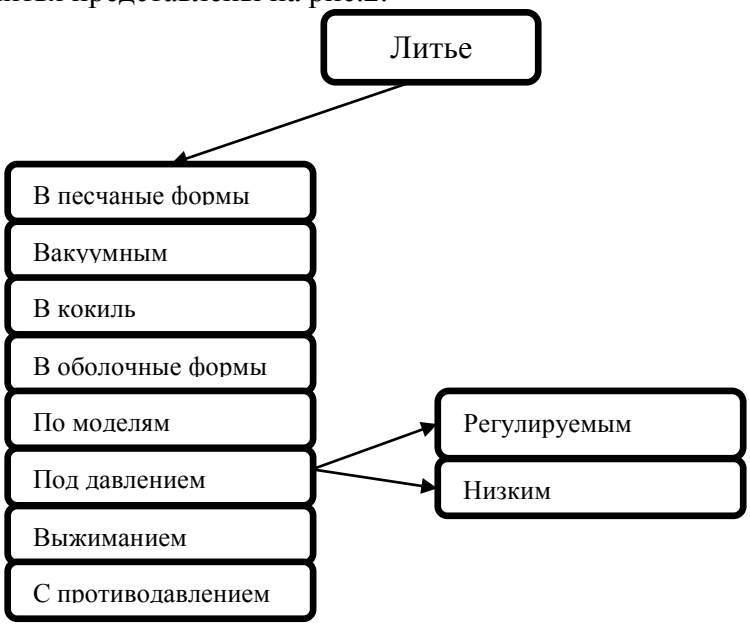


Рис. 2 – Виды литья

В PDM – tutor эта форма иллюстрируется на примере типовых деталей, заготовки которых получены одним из приведенных выше методов литья [3].

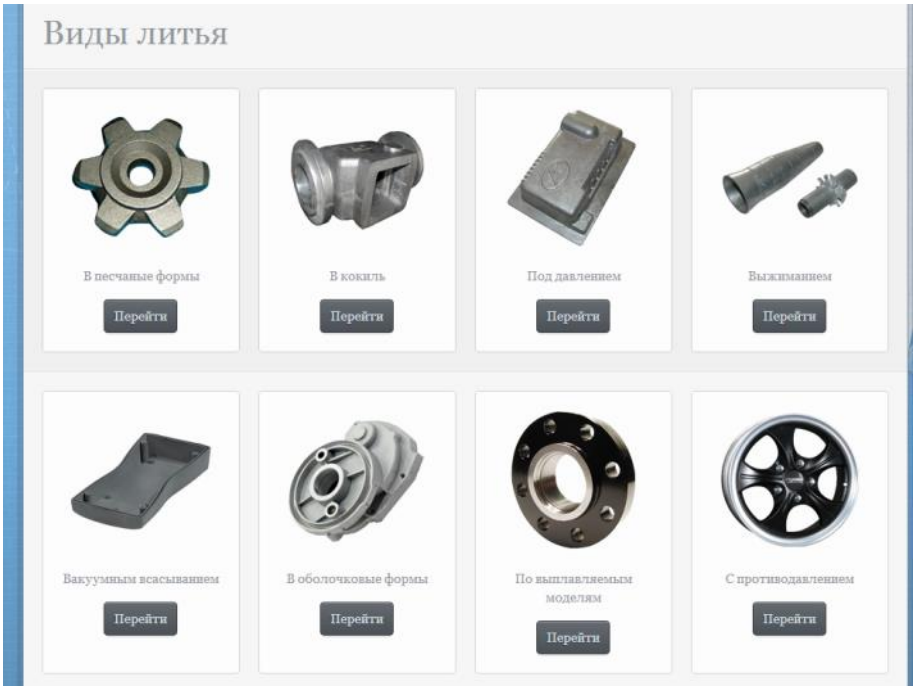


Рис. 3 – Типовые детали.

Система содержит теоретическую информацию о каждом виде литья, что направленно на приобретение необходимых знаний об изготовлении различных видов деталей промышленным способом. Каждая статья сайта была написана по следующему плану:

1. технология изготовления;
2. преимущества перед другими способами;
3. недостатки данной технологии.

В качестве примера подробно рассмотрен раздел «Литье в песчаные формы». По представленному учебному материалу пользователь имеет возможность изучить как

непосредственный процесс получения отливки детали, так и ознакомиться с особенностями метода, включая возможные дефекты отливок и меры по их устранению.

Заключительная страница представляет собой разработанную технологическую карту на изготовление детали способом литья в песчаные формы. Приводится анализ геометрии детали и сведения о предназначении элементов.

На основании анализа геометрии детали составлена маршрутная карта.

Таблица 1 – Маршрутная карта.

Номер операции	Содержание операции	Оборудование
001	Входной контроль	Контрольный стол
005	Фрезерная черновая	Вертикально – фрезерный станок 6Н12
010	Фрезерная чистовая	Вертикально – фрезерный станок 6Н12
015	Токарная черновая	Токарный станок 16К20
020	Токарная чистовая	Токарный станок 16К20
025	Шлифовальная	Торцешлифовальный станок 3Т160
030	Сверлильная	Универсальный вертикально – сверлильный 2Н125
035	Резьбонарезная	Вертикальный резьбонарезной станок 2Р056
020	Слесарная	Стол слесарный, напильник
025	Промывка	Моечная машина
030	Контрольная	Контрольный стол

Согласно таблице, проработана каждая операция от заготовительной до контрольной, также подкрепленная дидактическим материалом (рис. 4).

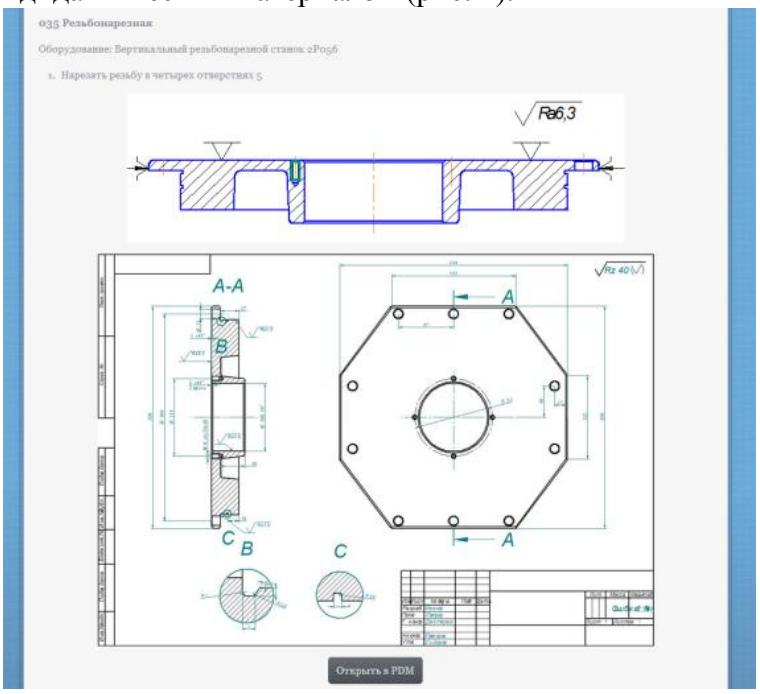


Рис. 4 – Пример оформления операции

Пользователю предоставляется возможность, как просмотреть чертежи на каждом этапе разработки, так и скачать чертеж и открыть его в CAD и/или PDM – системе.

В системе предусмотрена возможность внесения изменений, дополнений, оформления контента и т. д. На главной странице системы пользователю предоставляется возможность следить за новостями проекта, при желании можно помочь его развитию. Имеются тематические статьи, дающие лучшее представление о проекте и PDM – системах. Библиотека нормативных документов содержит документы ГОСТ и ЕСКД.

Гибкость системы предусматривает расширение и создание новых конструктивных блоков, необходимость возникновения которых может возникнуть при дальнейшей работе.

Создан раздел «Электронный архив», где можно сразу скачать как каждый отдельный чертеж, так и комплект чертежей. В системе был предусмотрен поиск для быстрого перехода к интересующему разделу. Поиск осуществляется по всей системе.

Таким образом, пользователю предоставляется как теоретическая информация по выбранной тематике, так и предлагается практическое руководство, которые помогут усвоить материал и глубже изучить технологию изготовления деталей.

В результате был разработан инструмент, с помощью которого можно создать полноценный ресурс по подготовке конструкторской и технологической документации. Содержание и направление ресурса может быть изменено, исходя из требований предприятия или ВУЗа. В настоящее время ведется работа по поддержанию проекта и его дальнейшему развитию.

Список литературы

1. *Бабулин Н.А.* Построение и чтение машиностроительных чертежей. Учебник. Издание двенадцатое, дополненное. Учебник для учащихся начального профессионального образования. (М.: Высшая школа, 2005).

05.13.18

А.С. Андреев, Е.А. Кудашова, О.А. Перегудова

Ульяновский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Ульяновск, andreevas@ulsu.ru

О МОДЕЛИРОВАНИИ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ПРЯМОГО МЕТОДА ЛЯПУНОВА[1]

В работе рассматривается задача построения моделей управляемых динамических систем, функционирующих в непрерывном времени, с дискретным управлением. Рассмотрены различные подходы к решению данной задачи: метод дискретизации системы, метод сведения системы к функционально-дифференциальному уравнению с запаздыванием. На основе применения знакопостоянных функций и функционалов Ляпунова получены новые теоремы об асимптотической устойчивости нулевого решения неавтономных систем разностных уравнений и функционально-дифференциальных уравнений с запаздыванием.

Ключевые слова: *математическое моделирование, управление движением, стабилизация, цифровой регулятор, метод Ляпунова.*

Цифровой регулятор все чаще используется в различных системах управления непрерывными процессами. Разработка соответствующих моделей таких управляемых процессов приводит к необходимости изучения непрерывно-дискретных систем, в которых состояние описывается непрерывной функцией, а управления строится на основе его дискретных измерений.

Одной из распространенных моделей управляемого процесса, описываемого конечным числом переменных, является система вида

$$\dot{x} = X(t,x,u) \tag{1}$$

где $x \in R^n$ – вектор состояния, $u \in R^m$ – вектор управления, $X : R^+ \times R^n \times R^m \to R^n$ – непрерывная по (t,x,u) вектор-функция.

В следующей постановке задачи и ее исследовании, как обычно принято, будем считать, что $X(t,0,0) = 0$, $\|x\|$ и $\|u\|$ есть соответствующие нормы в R^n и R^m.

Задача синтеза стабилизирующего управления с цифровым регулятором состоит в нахождении закона управления вида $u = u(t,x(t)) = u_k = const$ при $t \in [t_k, t_{k+1})$, $u(t,0) \equiv 0$, где $t_k \to \infty$ есть строго монотонно возрастающая последовательность, при которой состояние $x = 0$ системы (1) является асимптотически устойчивым.

Решение этой задачи для ряда моделируемых процессов может быть приведено к исследованию дискретной системы вида

$$x(k+1) = f(k,x(k)),\ f(k,0) \equiv 0 \tag{2}$$

где вектор-функция $f : Z^+ \times R^n \to R^n$ непрерывна по x при $k \in Z^+$.

В дополнение к результатам из [1], имеют место следующие теоремы.

Теорема 1. Предположим, что для системы (2) можно найти скалярную функцию Ляпунова $V = V(k,x)$ непрерывную по x при $k \in Z^+$, такую, что:

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-01-00541, 12-01-31084, 12-01-33082).

1) $0 \le V_1(x) \le V(k,x) \le V_2(x)$, $V_1(0) = 0, V_2(0) = 0$;

2) $V(k+1, f(x,k)) \le F(k, V(k,x))$, $F(k,0) = 0$;

3) при этом решение $W = 0$ уравнения движения $W(k+1) = F(k, x(k))$ является равномерно асимптотически устойчивым;

4) решение $x = 0$ системы (2) равномерно асимптотически устойчиво относительно множества $\{V_1(x) = 0\}$.

Тогда решение $x = 0$ системы (2) равномерно асимптотически устойчиво.

Аналогичные результаты имеют место и для случая существования векторной функции Ляпунова с соответствующей системой движения. При этом используются необходимые построения из [1].

Теорема 2. Вывод теоремы 1 имеет также место, если условия 2) и 3) заменить на условия:

2') $V(k+1, f(x,k)) \le F(k, V(k)) - W(x)$, $F(k,0) = 0$, $W(x)$;

3') решение $W = 0$ уравнения движения $u(k+1) = F(k, W(k))$ равномерно устойчиво;

4) множество $\{V_1(x) > 0\} \cap \{W(x) = 0\}$ не содержит целых решений предельных к (2) системе.

Тогда решение $x = 0$ системы (2) является равномерно асимптотически устойчивым.

Теоремы 1 и 2 со скалярной векторной функцией Ляпунова могут быть развиты и для задачи о стабилизации по части переменных.

Положим $x = (y', z')'$ и введем соответствующие обозначения из [1].

Теорема 3. В условиях 1) – 3) теоремы 1 предположим так же, что:

4') решения (2) из $z = 0$ ограничены равномерно по $(n_0, x_0) \in Z^+ \times \{\|y\| \le H_0 > 0, \|z\| \le Q_0 > 0\}$;

5') множество $\{y = 0\}$ равномерно асимптотически устойчиво относительно множества $\{V_1(x) = 0\}$.

Тогда решение $x = 0$ системы (2) равномерно асимптотически устойчиво.

Полученные результаты могут быть обобщены и на случай, когда в силу дискретности управления $u = u(t, x(t))$ системы (1) правая часть (2) терпит конечные разрывы при каждом $n \in Z^+$ на некоторой поверхности $\{x \in R^n : g(n,x) = 0\}$.

Соответствующие результаты достигаются построением разностных включений, используя, например, результаты из [2].

Другой подход представления модели для системы (1) с цифровым регулятором основан на сведении системы (1) к системе функционально – дифференциальных уравнений

$$\dot{x}(t) = f(t, x_k) \qquad (3)$$

где $f = f(t, \varphi)$ есть вектор – функция, определенная на множестве $R \times C$, C - банахово пространство непрерывных функций, определенных на отрезке $[-h, 0]$, $(h > 0)$, $(t_{k+1} - t_k \le h = const)$, с нормой $\|\varphi\| = \sup(\|\varphi\|_1 - h \le s \le 0)$. При этом функция $f(t, \varphi)$ является кусочно-непрерывной в соответствии с построением из [2].

В дополнение к результатам из [3], может быть доказана следующая теорема.

Теорема 4. Предположим, что для системы (3) может быть найден непрерывный функционал Ляпунова $V = V(t, \varphi)$, такой что

1) $0 \le V_1(\varphi) \le V(t, \varphi) \le V_2(\varphi)$, $V_1(0) = V_2(0) = 0$;

2) Верхняя производная от $V(t, \varphi)$ в силу (3) удовлетворяет неравенству $\dot{V}(t, \varphi) \le -\mu V_1(\varphi)$, $\mu > 0$;

3) решение $x = 0$ системы (3) равномерно асимптотически устойчиво относительно множества $\{V_1(\varphi) = 0\}$.

Тогда решение $x = 0$ системы (3) является равномерно асимптотически устойчивым.

Полученные теоретические результаты могут быть применены в задачах синтеза дискретного управления механическими системами, рассмотренными в работах [4,5].

Список литературы

1. *Андреев А.С.* К методу сравнения в задачах об асимптотической устойчивости / А.С. Андреев, О.А. Перегудова // Прикладная математика и механика. — 2006. — Т. 70. — Вып. 6. — С. 965–976.

2. *Андреев А.С.* Об устойчивости нулевого решения системы с разрывной правой частью / А.С. Андреев, О.Г. Дмитриева, Ю.В. Петровичева // Научно-технический вестник Поволжья. — 2011. — № 1. — С. 15–21.

3. *Андреев А.С.* Устойчивость неавтономных функционально-дифференциальных уравнений. – Ульяновск: УлГУ, 2005. – 328 с.

4. *Андреев А.С.* Моделирование управляемого движения системы связанных твердых тел / А.С. Андреев, А.О. Артемова, Ю.В. Петровичева // Автоматизация процессов управления. — 2012. — № 4(30). — С. 47–54.

5. *Андреев А.С.* Об управлении движением голономной механической системы / А.С. Андреев, А.О. Артемова // Научно-технический вестник Поволжья. — 2012. — № 6. — С. 80–87.

05.23.17

[1]П.И. Андреева, [2]Е.Ю. Сергеевцев к.т.н., [3]А.В. Голованов к.т.н., [4]С.В. Щербина

[1]Московский государственный строительный университет,
Институт фундаментального образования, кафедра Сопротивления материалов,
Москва, p.andreeva_90@mail.ru

[2]Московский государственный строительный университет,
Москва, sergeevcev@gmail.com

[3]ООО «А.Г.А.Т.», Москва, Andrey_Golovanov@mail.ru

[4]Московский государственный строительный университет,
Институт инженерно-экологического строительства и механизации,
кафедра Механического оборудования, деталей машин и технологии металлов,
Москва, serg_msk89@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО - РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КУПОЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ АТОМНОГО РЕАКТОРА ВВЭР-1000

В статье приведены результаты натурных динамических исследований защитных оболочек АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и результаты расчета купольной части защитной оболочки с геометрическим дефектом, выявленным в ходе проведения экспериментальных исследований.

Ключевые слова: *динамические характеристики, собственные колебания, защитная оболочка, форма колебаний, записи колебаний.*

Главной задачей исследования являлось определения собственных частот колебаний защитных оболочек и проведение «условного динамического мониторинга» технического состояния оболочек реакторов. «Условный динамический мониторинг» состоит в сравнении собственных частот однотипных конструкций. В рамках настоящей работы представлены результаты экспериментов и расчетов купольных покрытий оболочки, мониторинг которых показал наличие дефекта в одном из них. Всего были исследованы 10 оболочек проектов В-338 и В-320 на 4-х атомных электростанциях. Колебания записывались в виде массивов чисел, показывающих мгновенное значение скорости колебаний в точке (мм/с). Далее записи колебаний были обработаны – отфильтрована часть вынужденных колебаний, построены спектры мощности колебаний в каждой точке.

В ходе исследований были получены следующие собственные частоты купольных покрытий защитных оболочек:

1. Оболочка № 1 – 4-й энергоблока Нововоронежской АЭС – 17.6 Гц;
2. Оболочка № 2 –1-й энергоблок Ростовской АЭС – 17.0 Гц;
3. Оболочка № 3 –2-й энергоблок Ростовской АЭС – 17.6 Гц;
4. Оболочка № 4 –1-й энергоблок Балаковской АЭС – 19.5 Гц;
5. Оболочка № 5 –2-й энергоблок Балаковской АЭС – 13.3 Гц;
6. Оболочка № 6 –3-й энергоблок Балаковской АЭС – 18.0 Гц;
7. Оболочка № 7 –4-й энергоблок Балаковской АЭС – 19.5 Гц;
8. Оболочка № 8 –1-й энергоблок Калининской АЭС – 18.3 Гц;
9. Оболочка № 9 –2-й энергоблок Калининской АЭС – 18.7 Гц;
10. Оболочка № 10 –3-й энергоблок Калининской АЭС – 18.5 Гц.

Частота купольных покрытий защитных оболочек варьируется в пределах 17.0 – 19.5 Гц за

исключением купольного покрытия защитной оболочки №5, где собственная частота купола составляет 13.3 Гц. При визуальном осмотре этого купольного покрытия был замечен геометрический дефект, заключавшийся в том, что примерно ¼ площади покрытия имела не купольную, а плоскую форму. При таком геометрическом дефекте часть купола перестает работать только на сжатие – исчезает арочный эффект и снижается жесткость покрытия вследствие чего собственные частоты могут изменяться. В качестве возможных причин снижения собственной частоты купольного покрытия были так же выдвинуты снижение натяжения армоканатов преднапрягаемой арматуры в куполе и снижение прочности бетона оболочки.

Для выяснения влияния обнаруженного дефекта на снижение собственной частоты были построены две расчетные модели купольного покрытия в программном комплексе Ansys. Первая модель (№1) купольной части оболочки реактора была выполнена без геометрического дефекта (по проекту) с проложенными внутри стержневыми элементами, моделирующими преднапрягаемые армоканаты внутри купола.

Результаты расчета модели №1 с проектными значениями прочности (класс бетона В 50) и силы преднапряжения армоканатов (10 МН) очень хорошо сошлись результатами натурных исследований на большинстве станций. Форма колебаний соответствующая первой собственной частоте модели купольной оболочки – 17.6 Гц показана на рис.1.

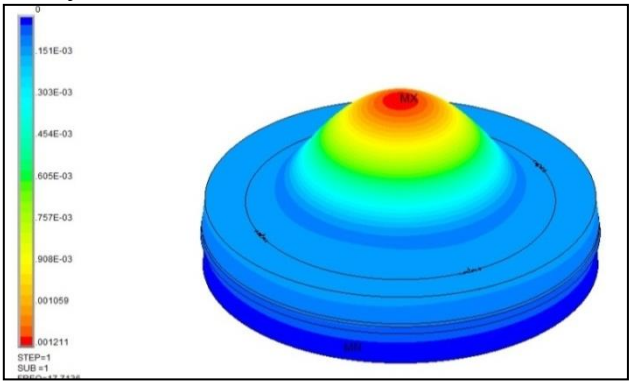


Рис. 1 – 1-я форма колебаний купола оболочки реактора ВВЭР-1000 (частота 17.6 Гц)

Далее был проведен расчет модели без преднапряжения армоканатов, который показал, что собственные частоты практически не изменились – снижение первой собственной частоты при снятии нагрузки от преднапряжения составило 0,6%, что явно недостаточно для объяснения столь сильного снижения собственной частоты как то, что было зарегистрировано при натурных экспериментах. Для оценки влияния этого параметра на собственные частоты был проведен ряд расчетов, в которые закладывались различные значения начального модуля упругости бетона, соответствующие различным классам бетона. Результаты проведенных расчетов представлены на рис. 2 в виде графиков зависимостей частот от динамического модуля упругости бетона.

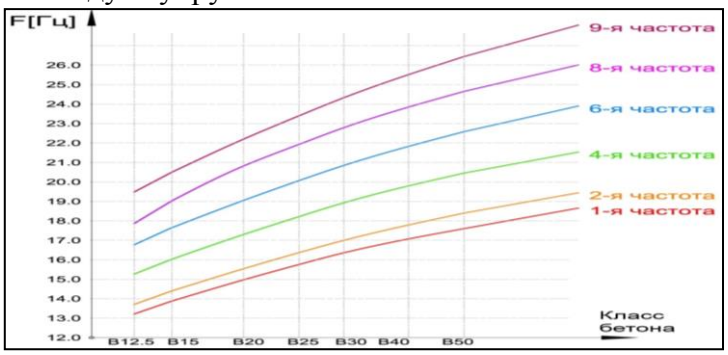
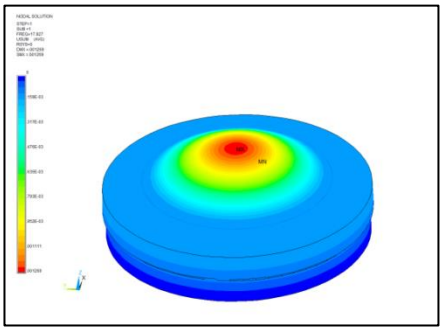


Рис. 2 – Изменения значения собственных частот купола оболочки реактора в зависимости от прочности бетона

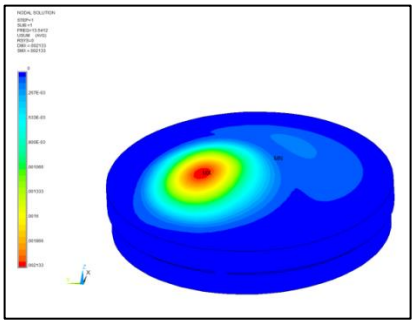
Полученные зависимости частот от прочности бетона позволяют объяснить изменение частот в пределах 17.0–18.0 Гц различными классами бетона, из которого изготовлены

купольные покрытия оболочек реакторов на различных энергоблоках. Однако снижением прочности бетона конструкций нельзя объяснить столь большого уменьшения значения собственной частоты купола, как то, что было зарегистрировано экспериментально на оболочке 2-го блока Балаковской АЭС, где первая собственная частота купола составила 13.3 Гц. Если подставить в график на рис. 2 значение первой собственной частоты купола оболочки 2-го блока Балаковской АЭС, то получится, что прочность бетона этого купола соответствует бетону класса В12,5 – В15 при проектном классе бетона В50, что представляется маловероятным.

Вторая модель (№2) была выполнена с дефектом в виде замены плоскостью 1/4 части купольной оболочки. В результате расчета модели №2 были получены собственные частоты колебаний, соответствующие им формы колебаний значительно отличались от результатов, полученных при расчете модели №1 – без дефекта геометрии. Для сравнения на рис. 3 и 4 показаны формы колебаний соответствующие 1-й и 2-й частотам собственных колебаний моделей №1 и №2.

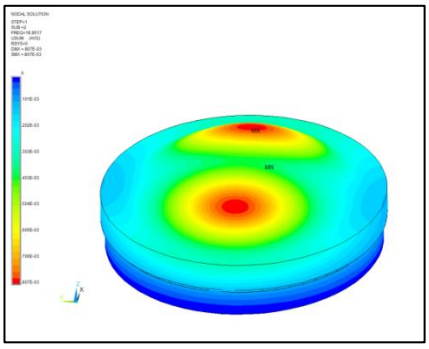


1-я форма колебаний модели №1 (f = 17.8 Гц)

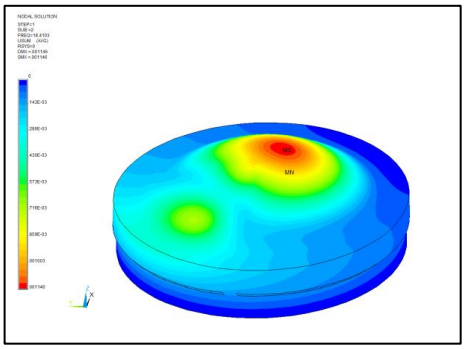


1-я форма колебаний модели №2 (f = 13.5 Гц)

Рис. 3 – Формы колебаний, соответствующие первым собственным частотам моделей №1 и №2 купольного покрытия защитной оболочки



2-я форма колебаний модели №1 (f = 18.9 Гц)



2-я форма колебаний модели №2 (f = 18.4 Гц).

Рис. 4 – Формы колебаний соответствующие вторым собственным частотам моделей №1 и №2 купольного покрытия защитной оболочки

Таблица 1 – Сравнительная таблица частот собственных колебаний купола

№ часто ты	Частота купола по проекту, Гц	Частота купола с геометрическим дефектом, Гц	Первая частота купола в натуре, Гц
1.	17.83	13.54	17.60 – 19.50 (13,30 - купол с дефектом)
2.	18.9517	18.4103	–
3.	18.9517	18.9494	–
4.	20.9499	20.1831	–
5.	20.9499	21.3053	–

Как видно из рис. 3, 1-я частота, полученная в результате расчета купольной части защитной оболочки с дефектом, существенно отличается от 1-й частоты, полученной при расчете купола без дефекта и при натурных исследованиях на большинстве оболочек:

- Первая собственная частота модели №1 (по проекту) – 17.83 Гц.
- Первая собственная частота модели №2 (с геометрическим дефектом) – 13.54 Гц.
- Первая натурная собственная частота купольных покрытий большинства исследованных защитных оболочек – 17.60-19.50 Гц.
- Первая натурная собственная частота купольного покрытия защитной оболочки №5 – 13.30 Гц.

В натурных исследованиях купола с дефектом также была получена частота 13,3 Гц, что соответствует расчетным данным. Значения остальных частот практически одинаковы. Таким образом, при помощи расчета мы подтвердили, что столь большое снижение собственной частоты объясняется только наличием геометрического дефекта купола.

Список литературы

1. *Андреева П.И., Ковальчук О.А.* «Сравнительный анализ результатов экспериментальных натурных динамических исследований и расчета динамических характеристик высотного жилого здания». // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2012. - Volume 8, Issue 4. С.13-18
2. *Грошев М.Е., Шаблинский Г.Э., Сергеевцев Е.Ю.* Расчеты динамических характеристик плотины Саяно-Шушенской ГЭС с учетом результатов натурных экспериментов // Вестник МГСУ. - 2011. - №4. С. 235-239
3. *Зубков Д.А., Кузнецов В.В., Сергеевцев Е.Ю.* Натурные динамические исследования высотного здания // Вестник МГСУ. – 2011 - №4 – С.239-242
4. *Зубков Д.А., Сергеевцев Е.Ю., Румянцев А.А.* Изучение микроколебаний защитной оболочки реактора ВВЭР – 1000 // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2011. – №2. С.25-29
5. *Ковальчук О.А*. Моделирование пространственных стержневых систем методом конечных элементов // Научно-практический интернет-журнал «Наука. Строительство. Образование». – 2012. – № 2. С. 1-6
6. *Шаблинский Г.Э., Джинчвелашвили Г.А., Зубков Д.А.* Сейсмостойкость строительных конструкций атомных электростанций, монография — М.: АСВ. - 2010. – 216 с.

05.22.10

И.А. Анисимов к.т.н., Р.А. Хлопотов

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра эксплуатация автомобильного транспорта,
Тюмень, romahlopotov@gmail.com

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДА ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЯ НА РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА ОТ РЕЖИМА РАБОТЫ АКПП И ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ

Данная статья посвящена проблеме расхода топлива двигателя при работе на холостом ходу в зависимости от режима работы автоматической трансмиссии с учетом влияния температурных условий. Объектом выступает автоматическая КПП. Проанализирована номенклатура автомобилей, наиболее часто встречающихся в Российской Федерации и оснащенных автоматическими коробками передач. Проведен обзор конструкции гидромеханической коробки передач.

Ключевые слова: *Автоматическая коробка передач, гидромеханическая коробка передач, гидротрансформатор, планетарный редуктор, расход топлива, холостой ход.*

За последние несколько лет доля продаваемых в России автомобилей с автоматической трансмиссией значительно выросла, так, согласно данным аналитического агентства «АВТОСТАТ», в 2012 году на долю проданных автосалонами автомобилей с автоматической трансмиссией пришлось порядка 45%. В 2011 году АКПП были оснащены 37,5% новых автомобилей, а пять лет назад – лишь около четверти (25,8%) рынка. Дальнейший рост продаж автомобилей с автоматической трансмиссией прогнозирует директор агентства «АВТОСТАТ» Сергей Целиков: «Увеличение доли автомобилей с автоматической трансмиссией будет продолжать расти и может превысить 50% уже в ближайшие 2-3 года». [1] Такой динамике способствует несколько факторов: увеличение числа начинающих водителей, предпочитающих автоматическую трансмиссию механической КПП, снижение стоимости автомобилей с автоматической трансмиссией и увеличение количества моделей, оснащающихся АКПП.

Для автовладельцев одним из главных вопросов в эксплуатации автомобилей с автоматической трансмиссией является необходимость переключения трансмиссии в режим «N» при стоянке на светофоре. В инструкциях по эксплуатации популярных моделей автомобилей этот вопрос никак не освещен, поэтому автолюбители решают проблему выбора режима АКПП на свое усмотрение. Основным фактором, делающим этот вопрос настолько важным, является зависимость расхода топлива от выбора режима автоматической трансмиссии на холостом ходу. При постоянном увеличении насыщенности потоков движения транспорта в городах, росте автомобилизации и снижении средней скорости автомобилей, заметна тенденция роста времени работы двигателя автомобиля на режиме холостого хода. В городском цикле время работы на режиме холостого хода достигает одной трети всего времени работы двигателя.

Основными видами автоматических коробок передач, применяемых на легковых автомобилях в настоящее время являются: гидромеханическая коробка передач, вариатор и роботизированная механическая КПП, все они кардинально различаются принципом работы. [2]

Проанализировав пресс-релиз по продажам новых легковых автомобилей, выпущенный Комитетом автопроизводителей АЕБ, можно сделать вывод, что большинство самых распространенных автомобилей в РФ за период январь-август 2013 оснащаются автоматической трансмиссией. [3] Так, из 25 наиболее продаваемых моделей автомобилей 20

имеют модификации с автоматической коробкой передач, среди которых самые продаваемые автомобили в РФ: Lada Granta, Huyndai Solaris и Kia Rio.

Проведённый углубленный анализ легковых автомобилей с АКПП показал, что на подавляющем большинстве новых легковых автомобилей с автоматической коробкой передач, продаваемых на территории Российской Федерации, устанавливается гидромеханическая КПП с планетарным механизмом. Также можно выявить несколько унифицированных моделей гидромеханических АКПП разных производителей, устанавливаемых на большой список моделей автомобилей, например, HYUNDAI A4CF2 устанавливается на автомобили Hyundai Solaris, Hyundai Accent, Hyundai Getz, Kia Rio, Kia Cerato, АКПП Aisin Co, модели TF60-SN устанавливается на Volkswagen Polo, Volkswagen Golf, Skoda Octavia.

Все коробки переключения передач данного типа имеют схожую конструкцию, различия заключаются в компоновке и схеме управления. Передача вращающего момента от двигателя к коробке передач осуществляется потоками рабочей жидкости, циркулирующей в гидротрансформаторе. [4] Насосное колесо гидротрансформатора механически связано с двигателем, крыльчатка насосного колеса, вращаясь, создаёт поток жидкости. Поток масла заставляет вращаться турбинное колесо, соединённое через шлицы с валом АКПП в процесс преобразования крутящего момента помимо насосного и турбинного колёс включён реактор, который изменяет направление потока жидкости. Реактор связан с гидротрансформатором через обгонную муфту, которая может вращаться только в одном направлении.

Статор направляет поток жидкости обратно на крыльчатку насосного колеса, заставляя её вращаться быстрее, увеличивая тем самым крутящий момент. По мере разгона и достижении достаточной скорости автомобиля гидротрансформатор перестаёт увеличивать крутящий момент и переходит в режим обычной гидромуфты. В таком режиме ГТ имеет КПД, не превышающий 85%, что приводит к выделению в нём излишнего тепла и, в конечном счёте, увеличению расхода топлива двигателем автомобиля. Для устранения этого недостатка используется блокировочная плита, которая имеет возможность блокировать турбинное колесо относительно насосного. Такая блокировка исключает внутренние потери, увеличивает значение КПД передачи, уменьшает расход топлива в установившемся режиме движения. Далее вращающий момент передаётся на планетарную коробку передач. Планетарная коробка передача состоит из нескольких планетарных редукторов. Редукторы соединены между собой посредством муфт. Планетарный редуктор состоит из центральной или солнечной шестерни, сателлитов, водила и внешней коронной шестерни (Рис.1). Все пары шестерен редуктора находятся в постоянном зацеплении. [4]

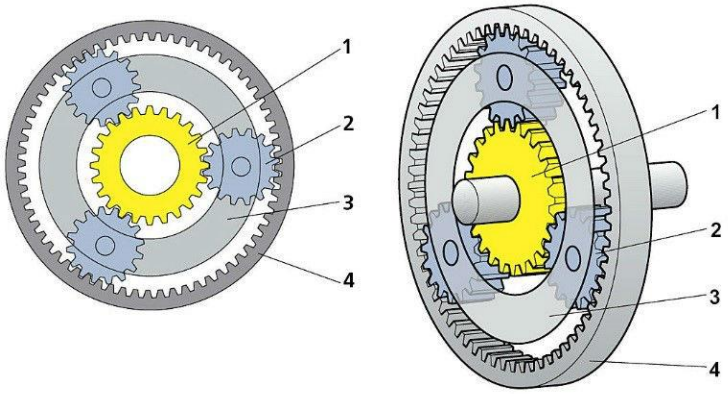


Рис. 1- Устройство планетарного редуктора. 1 — солнечная шестерня; 2 — сателлиты; 3 — водило; 4 — коронная шестерня

В автоматической коробке передач несколько планетарных редукторов расположены последовательно.

Для получения жёсткой кинематической связи между ведущим и ведомым валом в планетарных механизмах необходимо включать определенные комбинации элементов

управления, в качестве которых в автоматических коробках передач используются ленточные и дисковые фрикционные элементы или обгонные муфты. Управление ленточными и дисковыми тормозами в АКП осуществляется с помощью гидравлики.

Исходя из конструкции автоматической коробки передач можно сделать вывод, что на стоящем автомобиле, работающем на холостом ходу при включенном режиме «D», такой режим работы характерен, например, при остановке на светофоре, планетарная коробка передач заторможена, так как ведущие колеса неподвижны и удерживаются благодаря тормозной системе. При такой схеме двигатель вращает насосное колесо гидротрансформатора, но передачи вращающего момента на турбинное колесо не происходит. При таком режиме работы происходит значительное снижение КПД гидротрансформатора и, следовательно, рост нагрузки на двигатель, что приводит к увеличению расхода топлива. Также увеличению расхода топлива в этом режиме способствуют отрицательные температуры окружающей среды. Исходя из вышесказанного целевой функцией исследования служит расход топлива при работе двигателя на холостом ходу. Целью данного исследования является определение зависимости расхода топлива от режима работы АКПП и температурных условий, а также создание практических рекомендаций по выбору необходимого режима работы автоматической коробки передач при остановке автомобиля и работе его на холостом ходу. Основными задачами исследования являются:

- анализ рынка автомобилей в России с целью выявления наиболее распространенных моделей автомобилей, оснащенных АКПП, и анализ конструкции автоматических трансмиссий, применяемых в этих моделях;
- определение зависимости расхода топлива от режима работы автоматической трансмиссии на холостом ходу;
- исследование времени нахождения автомобилей в режимах холостого хода в крупных городах;
- анализ влияния отрицательных температур на вязкость жидкости, применяемой в АКПП;
- анализ влияния разных режимов работы АКПП на надежность и техническое состояние трансмиссий;
- расчет экономической эффективности рационального выбора режимов работы АКПП;
- создание практических рекомендаций для автовладельцев по выбору режимов автоматической трансмиссии при остановке автомобиля на перекрестках на запрещающий сигнал светофора;
- создание методики корректирования нормативов расхода топлива при движении автомобилей, оснащенных АКПП в городских условиях.

Список литературы

1. АВТОСТАТ | Доля автомобилей с АКПП увеличилась до 45% [Электронный ресурс]: http://www.autostat.ru/news/view/12505/ Дата обращения: 02.11.2013
2. *Ткаченко Н.Н.* Автоматическая коробка передач // Феникс, 2001
3. Association of European Businesses [Электронный ресурс]: http://aebrus.ru/upload/iblock/528/528595a79e3b96377f017ffcf2131177.pdf Дата обращения: 30.10.2013
4. Учебное пособие "Автоматическая трансмиссия" [Электронный ресурс]: http://www.rtsh.ru/automatic_transmission.html Дата обращения: 14.11.2013

05.23.17

Н.Н. Анохин, В.Л. Мондрус, В.А. Смирнов

ФГБОУ ВПО Московский Государственный Строительный Университет (НИУ)

ЧИСЛЕННЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ФАСАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В работе рассматриваются вопросы образования трещин в наружных ограждающих светопрозрачных конструкциях от температурных напряжений в стеклах. Оценивается текущее состояние исследований по данному вопросу, а также рассматриваются случаи трещинообразования стёкол из инженерной практики. Проводится численное моделирование стационарного теплообмена в стёклах, определяются деформации, и напряжения в различных зонах стекла при различных способах закрепления.

Ключевые слова: *температурный шок, температурные напряжения, растрескивание стекол, МКЭ, стационарное распространение тепла.*

Современная архитектура испытывает потребность в больших светопрозрачных поверхностях ограждающих конструкций зданий с минимальным количеством непрозрачных несущих элементов. Намечается тенденция использования стекла в качестве несущего элемента фасада для восприятия нагрузок в плоскости элемента [1], а в высотных зданиях, стекла в наружных ограждающих конструкциях воспринимают также значительные ветровые нагрузки, действующие по нормали к срединной плоскости элемента, поэтому обеспечение безопасной эксплуатации стеклянных фасадов является актуальной задачей.

При повышении температуры наружного воздуха применяется тонированное в массе стекло или стекло со специальным светоотражающим пленочным покрытием. Однако вследствие загрязнения наружной поверхности стёкол, неправильной установки в раме, при отсутствии зазоров, всё чаще возникают случаи растрескивания стёкол в фасадных конструкциях.

Известно, что стекло поглощает больше 40% тепла, приходящего на него в виде солнечной радиации. Под воздействием солнечной радиации происходит нагрев поверхности стекла, в результате чего оно начинает расширяться. Стекло является хрупким материалом, хорошо работающим на сжатие, но крайне плохо на растяжение [2]. Если в толще стекла или на его контуре существует какой-либо концентратор напряжений, то при определенной критической нагрузке стекло трескается, без «предупреждения» как в металлических конструкциях. Проблема контакта стекла с несущими конструкциями фасада широко освещена в работе [1]. Однако учет температурных деформаций разработан в ней весьма мало.

Рассмотрим типовой случай растрескивания стекла в ограждающей конструкции, представленный на рис. 2 а). Трещины в стекле образовались в результате температурных деформаций, дальнейшее их развитие обусловлено деформациями под воздействием ветрового потока.

а) б)

Рис. 2. Растрескивание стекла в фасадной конструкции.
а) Натурные обследования; б) Расчетная схема задачи.

Приведём простейший расчёт данной конструкции. Примем, стекло в переплете – это шарнирно закрепленная пластина, размерами 2х2 м. Рассмотрим в плоскости стекла несколько сечений – горизонтальное (1-1), вертикальное (2-2) и диагональное (3-3) – рис. 2 б). Под влиянием солнечной радиации температура наружной поверхности ограждения повышается, вследствие чего с поверхности происходит отдача теплоты конвекцией и излучением в окружающую среду. Для расчетов все эти тепловые воздействия на ограждение могут быть заменены условной наружной температуры воздуха[3]. Её можно определять по формуле А.М. Шкловера [4]:

$$t_{сум} = t_н + \frac{pQ_{рад}}{\alpha_н}, \qquad (1)$$

где $t_н$ – температура наружного воздуха, ^{0}C; $\frac{pQ_{рад}}{\alpha_н}$ - эквивалентная температура солнечного облучения, $Q_{рад}$ - количество солнечной радиации, падающей на поверхность, Вт/м^2; $\alpha_н$ – коэффициент теплопередачи наружной поверхности, Вт/(м^2 ^{0}C).

Величина солнечной радиации принималась по СНиПу [5] для месяца июля, вертикальной поверхности южной ориентации широты 56^0. За сутки на вертикальную поверхность падает Q=4490 Вт/м^2.

Под действием нагрева, в стекле возникают нормальные напряжения, которые записываются в виде:

$$\sigma = \alpha t E, \qquad (2)$$

где α – коэффициент линейного температурного расширения, ^{0}C^{-1}; t – температура среднего волокна материала, ^{0}C; E – модуль упругости, МПа.

Проверим прочность стекла по методу допускаемых напряжений. Для нашего случая: $\sigma = \sigma tE = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 75{,}85 \cdot 75000 = 63{,}71 МПа$. Для стекла предел прочности при растяжении с изгибом составляет [σ]=30…50 МПа. Соответственно, в большинстве случаев, прочность стекла по методу допускаемых напряжений не обеспечивается. Кроме того, под воздействием температуры происходит удлинение материала. Посчитав удлинения стекла по различным сечениям (1-1, 2-2, 3-3), получим:

$\Delta l_{1\text{-}1} = \Delta l_{2\text{-}2} = 1{,}56 \cdot 10^{-3}$м; $\Delta l_{3\text{-}3} = 2{,}2 \cdot 10^{-3}$м.

Для определения характера распределения напряжений в стекле, а также определения мест возможного трещинообразования, проведён КЭ-расчёт в MSC Nastran. На рис. 3 видно, что максимальное перемещение имеет центр стекла, а в области углов происходит концентрация напряжений изгиба с растяжением. Расчетами получены значения напряжений больше 45 – 60 МПа, таким образом, при отсутствии достаточных зазоров в стеклопакетах (менее 1,5 мм), а также при некачественной установке последних или при установке в холодное время года установка теплозащитной темной пленки с внутренней стороны

остекления, а также запыление стекла, окрашенного в массе, способствует интенсивному нагреву его поверхности.

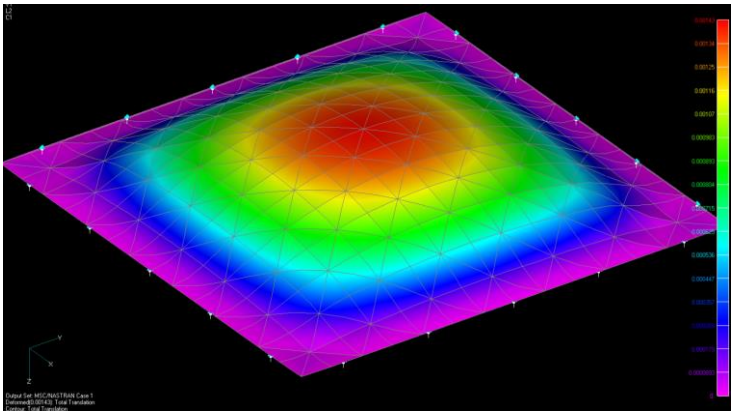


Рис. 3. Деформация стекла под действием температуры.

В результате, температурные деформации стекла превышают величину зазора, что приводит к образованию трещин. Расчеты (максимальное удлинение диагонального сечения), а также численное моделирование подтвердило, что образование трещин происходит в основном в углах окон.

Методы численного моделирования позволяют исследовать и более специфические ситуации. Для закрепления стекол в фасадах используются специальные крепежные системы, среди которых большое распространение получили системы точечного крепления стекла. Необходимо отметить, что для этих систем факт термического расширения стекла играет большую роль. Не имея возможности создавать зазоры для расширения стекла под температурой, проектировщики используют кондукторы, шаровые головы которых могут поворачиваться во всех направлениях, позволяя стеклу свободно деформироваться, тем самым избегая пиковых напряжений. Но на практике, в силу определенных обстоятельств, зачастую головки теряют такую способность, либо, вследствие низкой культуры установки. В работе [6] проведены исследования температурных напряжений для системы точечного крепления стекла. Общий вид дефектной конструкции представлен на рис. 4 а) и б).

а) б)

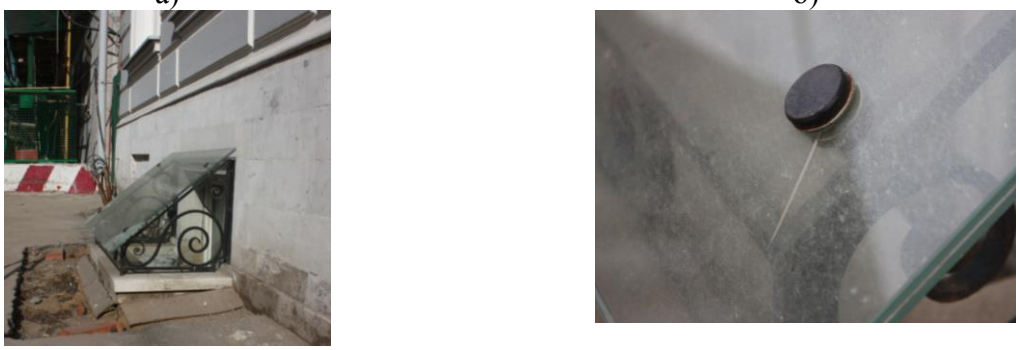


Рис. 4. Дефекты точечной системы крепления стекла.

Расчёты проведены аналогично, результаты представлены на рис. 5. Максимальное перемещение центра пластины 2.3 мм, а края пластины (на рисунке отмечен красным цветом) – 2.9 мм. Как видно из рис. 5 концентрация напряжений наблюдается в районе крепления стекла. Следует отметить, что напряжения концентрируются в направлениях под 45^0 от мест крепления. Таким образом, именно по этим направлениям и происходит трещинообразование, что и подтверждается на практике.

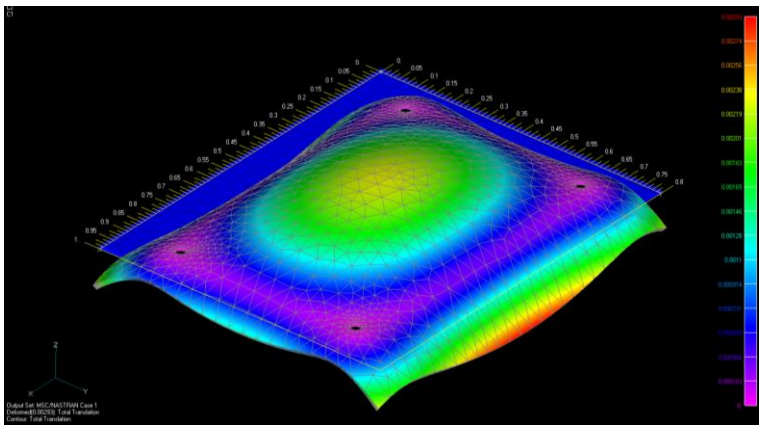


Рис. 5. Деформированное состояние стекла под воздействием температуры.

Таким образом, фактор теплового расширения стекла играет большую роль при проектировании, монтаже и эксплуатации светопрозрачных конструкций. Необходимо уделять большое внимание выбору системы крепления стекла, контролю качества производимых работ, а также созданию достаточных зазоров в местах креплений, которые должны учитывать сезонные деформации стекольных ограждающих конструкций.

Список литературы

1. *Edwin Huveners* «Circumferentially adhesive bonded glass panes for bracing steel frames in facades». University press facilities, TU Eindhoven, Netherlands, 2009.
2. *Солнцев С.С., Морозов Е.М.* – Разрушение стекла. Изд. 2-е, испр. – М. Издательство ЛКИ, 2008.
3. *Фокин К.Ф.* Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Москва, 2006.
4. *Шкловер А.М.* Теплотехнический расчет зданий, расположенных на юге СССР. Стройиздат, 1952.
5. СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика. Москва, 1983.
6. *Смирнов В.А.* «Влияние солнечной радиации на деформацию стекол». ACADEMIA. Архитектура и строительство. №5. – М. НИИСФ РААСН, 2009. – с. 538-541

05.16.07

А.Р. Барашев к.т.н., С.В. Карелов д.т.н., С.В. Мамяченков д.т.н., О.С. Анисимова к.т.н., В.В. Егоров

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, a.r.barashev@urfu.ru

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ КАДМИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Потребление никель-кадмиевых источников питания составляет около 10% от общего объема всех потребляемых химических источников тока [1]. Оценить объемы их потребления и утилизации в России не представляется возможным из-за отсутствия законодательной базы в области обращения с этими опасными отходами, которая позволила бы регламентировать сбор и переработку исчерпавших свой срок службы аккумуляторных батарей. В то же время остро стоит сырьевой вопрос. Кадмий практически не образует руд и его получают преимущественно на цинковых производствах как попутный продукт. Мировое производство первичного кадмия составляет 17 – 20 тыс. тонн/год. Основные сферы потребления представлены на рисунке 1.

Рисунок 1 – Диаграмма потребления кадмия.

Комплексная переработка щелочных никель-кадмиевых аккумуляторов в настоящее время актуальна по экологическим, экономическим и технологическим причинам. Селективное выделение металлов из такого многокомпонентного сырья с широким диапазоном составов – задача трудная, требующая новых исследований. Рециклинг подобных отходов становится важным в особенности для никель-кадмиевых батарей в связи с одновременным присутствием значительных количеств ценного никеля и чрезвычайно токсичного кадмия. Поэтому любой процесс переработки должен быть направлен на полное извлечение этих металлов в готовые продукты и исключение образования газовых выбросов и попадания в сточные воды.

Таким образом, технология переработки этого техногенного сырья должна отвечать следующим требованиям:

– экологическая чистота и безопасность;

– возможность высокого извлечения ценных компонентов;

– максимальная простота в аппаратурном оформлении;

– обеспечивать получение продуктов высокого качества, пригодных для производства новых аккумуляторных батарей.

Существующие пирометаллургические методы, по существу, представляют собой отгонку оксида кадмия под действием высоких температур. Существуют три основных пирометаллургических способа переработки никель-кадмиевых батарей:

– возгонка оксида кадмия в открытой печи с последующей конденсацией его в виде порошка [2, 3];

– дистилляция в атмосфере закрытой печи с получением порошка металлического кадмия и железоникелевого сплава [4];

– хлорирование батарей газообразным хлором или соляной кислотой с возгонкой хлорида кадмия при температуре 960 °С. Никель и кобальт остаются устойчивыми [5].

Переработка кадмийсодержащего сырья пирометаллургическими способами имеет как достоинства, так и недостатки [6]. К достоинствам следует отнести высокую удельную производительность и сравнительно низкую стоимость применяемых реагентов. Недостатками являются: невысокое качество получаемых продуктов; необходимость очистки и обезвреживания газов; низкое извлечение ценных компонентов, в том числе редких металлов; необходимость применения герметичной аппаратуры и сложной системы пылеулавливания в связи с высокой токсичностью кадмия и его соединений.

Продукты, получаемые при переработке отходов в пирометаллургических агрегатах, в большинстве случаев требуют дополнительной (чаще гидрометаллургической) доработки, что значительно снижает эффективность пирометаллургических схем. Возврат этих отходов на передел шихтоподготовки нерационален из-за накопления вредных примесей в цикле основного производства и потерь ценных компонентов сырья с отвальными продуктами.

Существенный недостаток также – высокое потребление топлива и энергии, так как рабочие температуры находятся в диапазоне 800–1000 °С. Сравнить энергетические затраты с затратами при гидрометаллургических процессах затруднительно, так как в этих процессах часто используют электролиз для восстановления металла.

Гидрометаллургические способы переработки в основном заключаются в переводе металлов в раствор кислотным или основным выщелачиванием. Из раствора металлы могут быть выделены методами осаждения (при изменении pH среды), электролизом или жидкостной экстракцией.

Сернокислотный способ нашёл наиболее широкое промышленное применение. На первой стадии процесса практически все компоненты скрапа переводят в раствор, а в дальнейшем методы разделения и выделения металлов из раствора различны. Например, разделение металлов проводят посредством сорбции кадмия на анионообменной смоле, содержащей функциональные группы, в состав которых входит азот.

Наряду с кислотным применяют аммиачное выщелачивание. Для растворения кадмия необходимо поддерживать концентрацию NH_3 на уровне 4 моль/дм^3. Для осаждения кадмия снижают концентрацию NH_3 за счет его улетучивания при нагреве. Недостатки способа: существенный расход энергии, потери NH_3 и невозможность использования отработанного раствора как оборотного продукта. Извлечение металлов при этом способе выщелачивания из лома превышает 98%. Их извлекают из растворов количественно, что исключает необходимость очистки кадмийсодержащих оборотных растворов.

Солянокислое выщелачивание отработанных никель-кадмиевых аккумуляторов сопровождается переводом в раствор всех составляющих скрапа. Поэтому наиболее актуальным является вопрос о селективном разделении металлов с получением монорастворов или качественных твердых продуктов.

Избирательное извлечение кадмия из модельных растворов, полученных в результате выщелачивания отработанных Ni–Cd батарей в неорганических кислотах показало, что азотнокислая среда не подходит для извлечения кадмия, поскольку нитрат-ионы восстанавливались при потенциале осаждения кадмия. Катодное восстановление предпочтительно вести из сред, содержащих хлорид- или сульфат-ионы, так как в этих случаях потенциал осаждения кадмия на 200 мВ менее отрицателен, чем аналогичный

параметр для Ni^{2+}. В оптимальных условиях извлечение кадмия составило более 90%, соосаждение никеля не наблюдалось, а выход по току превышал 80%.

Выводы.

1. Исследования по поиску новой технологии комплексной переработки отработанных щелочных никель-кадмиевых аккумуляторов актуальны как с экономической, так и с экологической точки зрения.

2. Краткий анализ химического и фазового составов отработанных щелочных аккумуляторов показал, что кадмий в них присутствует в основном в виде оксида; возможны заметные содержания металлического кадмия (при попадании в скрап неразряженных аккумуляторов). В качестве основных примесей присутствуют оксиды двух- и трехвалентного железа, металлическое железо (низкоуглеродистая сталь).

3. Пирометаллургическим методам переработки отработанных аккумуляторов, несмотря на высокую удельную производительность и сравнительно низкую стоимость применяемых реагентов, присущи существенные недостатки.

4. Сернокислотное выщелачивание кадмийсодержащих ламелей щелочных аккумуляторов предполагает перевод значительных количеств железа в раствор, выделение которого из сульфатных растворов проблематично. Селективная очистка от других примесей возможна только с применением сложных многостадийных (чаще всего экстракционных) процессов. Такие же недостатки присущи технологиям, использующим азотно- и солянокислое, а также аммиачное выщелачивание.

5. Наиболее перспективными с точки зрения селективности выделения кадмия, технологичности и экологической безопасности следует считать гидрометаллургические методы с использованием регенерируемых комплексообразующих реагентов, позволяющих:

– по несложной технологии получать качественные кадмийсодержащие продукты (оксид и гидроксид), пригодные для производства новых аккумуляторных батарей и железный концентрат, используемый в получении стали;

– практически полностью регенерировать достаточно дорогостоящий комплексообразующий реагент;

– обеспечить замкнутость технологической схемы по токсичным растворам, исключить выделения соединений кадмия в окружающую среду;

– использовать стандартное гидрометаллургическое оборудование и распространенные вспомогательные материалы, что обеспечивает невысокие затраты производства.

Список литературы

1. *Fricke J.K., Knudsen N.* Disposal of portable batteries. GRS batterien, May 2002. 21 p.
2. Pat. 5437705 US. Device and process for the recovery of cadmium and nickel / Delisle R.J., Martin H.E., Wilkerson A. Evereday Battery Company, Inc., St. Louis, MO, EUA. – August 01, 1995.
3. Pat. 4401463 US. Process for the recovery of metals from the scrap from nickel-cadmium electric storage batteries / Sab Nife A.B., Landskrona S., Melin A.L., Svensson V.H. – August 30, 1983.
4. *Cox A., Fray D.J.* Recycling of cadmium from domestic sealed NiCd battery waste by use of chlorination // Trans. Inst. Min. Metall., Sect.C: Miner. Process. Extr. Metall. 1999. Vol. 108. P. 153–158.
5. *David J.* Nickel-cadmium battery recycling evolution in Europe // Power Sources. 1995. No. 57. P. 71–73.
6. *Kui Huang, Jia Li, Zhenming Xu.* Characterization and recycling of cadmium from waste nickel-cadmium batteries // School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, PRC. 2010.

05.23.07

Ю.А. Барков, А.С. Бестужева

Московский государственный строительный университет,
Институт гидротехнического и энергетического строительства,
Кафедра Гидротехнического строительства,
Москва, alex_bestu@mail.ru

ФОРМЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЯ

В работе определены периоды и формы собственных колебаний плотины с учетом упругих свойств основания, даны оценки вклада каждой формы в величину сейсмической силы.

Ключевые слова: *сейсмостойкость плотин, формы и частоты собственных колебаний, спектр реакции, коэффициент динамичности, сейсмические силы*.

Решение динамических задач с использованием метода конечных элементов основывается на решении уравнения вынужденных колебаний сооружения при землетрясении, если последнее задано в виде оцифрованных акселерограмм в виде [1]:

$$[M]\{\ddot{U}\}_t + [C]\{\dot{U}\}_t + [K]\{U\}_t = -\{M_x\}\{\ddot{U}_{ox}\}(t) - \{M_y\}\{\ddot{U}_{oy}\}(t) \qquad (1)$$

где $\{\ddot{U}_{ox}\}(t)$ и $\{\ddot{U}_{oy}\}(t)$– ускорения основания, снятые с акселерограммы в момент времени t для горизонтальной и вертикальной составляющей соответственно. Вектора $\{\ddot{U}\}_t$, $\{\dot{U}\}_t$, $\{U\}_t$, найденные в ходе интегрирования, представляют собой вектора смещений, скоростей и ускорений системы в тот же расчетный момент времени t. Матрицы [M], [C], [K] - матрицы масс, затухания и жёсткости системы соответственно.

Для описания реакции сооружения на внешнее воздействие можно использовать принцип Релея, согласно которому смещение в узле системы в некоторый момент t может быть определено с точностью до одного зависящего от времени параметра $Y_i(t)$ с коэффициентом пропорциональности X_i, в роли которого выступают смещения по i форме собственных колебаний сооружения:

$$U_k(t) = X_{1\,k} Y_1(t) + X_{2\,kj} Y_2(t) + ... + X_{ik} Y_i(t) \qquad (2)$$

где X_{ik} –смещение в k-узле системы по i-форме колебаний; $Y_i(t)$–смещение маятника с i-частотой собственных колебаний в момент t. Количество слагаемых в выражении (2) зависит от условий задачи и связано с точностью расчета.

Подстановка выражения (2) в (1) и выполнение матричных преобразований, позволяют представить уравнение вынужденных колебаний в виде дифференциальных уравнений колебания математических маятников раздельно для каждой i-той формы собственных колебаний сооружения. В результате интегрирования этих уравнений могут быть определены вектора смещений узлов системы во время землетрясения, по которым, используя соотношения теории упругости определяются деформации и напряжения в плотине. Динамические функции перемещений и ускорений, полученные в ходе решения (1) представляют собой функции максимально возможных пульсаций этих величин во время землетрясения.

Сейсмическая сила в решении динамической задачи может определяться с учетом разного числа форм собственных колебаний, и точность решения динамической задачи зависит от числа учитываемых форм, которое для каждого сооружения устанавливается индивидуально, при общем числе степеней свободы в несколько тысяч обычно ограничивается несколькими десятками от 20 до 100 [2]. Знание форм собственных колебаний плотины, входящих в алгоритм определения сейсмических сил, имеет большое значение. Действительно, известно,

что наиболее энергоемкими формами в колебаниях сооружений являются формы, связанные со всеобщим смещением тела плотины в каком-либо одном направлении. Для бетонных и грунтовых плотин первой формой колебаний на низшей частоте является форма горизонтального смещения тела плотины относительно основания, а второй, как правило, если основание упруго – вертикальная. Эти формы вносят самый большой вклад в характер колебаний плотины при землетрясении. Совпадение периода низшего тона собственных колебаний плотины с периодом наибольших ускорений в колебаниях основания означает опасность резонансных явлений в плотине, что требует анализа не только форм и частот собственных колебаний плотины, но и специального подбора расчетной акселерограммы из серии аналоговых записей.

Действительно, согласно спектральным представлениям о колебаниях сооружения, известно, что наибольшие амплитуды смещений в сооружении наблюдаются на частотах, близких к частотам внешнего воздействия, особенно, если это низшие частоты.

На рис.1 представлены первые 10 форм и периодов собственных колебаний бетонной плотины на упругом основании высотой 50м. Динамические свойства тела плотины и основания даны в табл.1.

Таблица 1

Материал	Об.вес, кН/м^3	Скорость упр.волн, м/с	Модуль упругости, МПа	Коэф. Пуассона
Песчаники	28,3	3500	70000	0,2
Алевролиты трещ.	27,8	1500	7000	0,22
Бетонная плотина	24,0	2800	20000	0,18

Период основного тона собственных колебаний плотины равен 0,173с. Многие известные записи сильных землетрясений (Паркфилд, Юрека, Эль-Центро, Газлийское и др.) имели период основного тона 0,15 - 0,5с, что соответствует диапазону частот от 2÷7 Гц.

В расчетах получено, что первая форма собственных колебаний – сдвиговая, вторая – изгибная с большой долей вертикальных компонент смещений, на третьей форме основные колебания плотины обусловлены вертикальными колебаниями сжимаемого основания (рис.1).

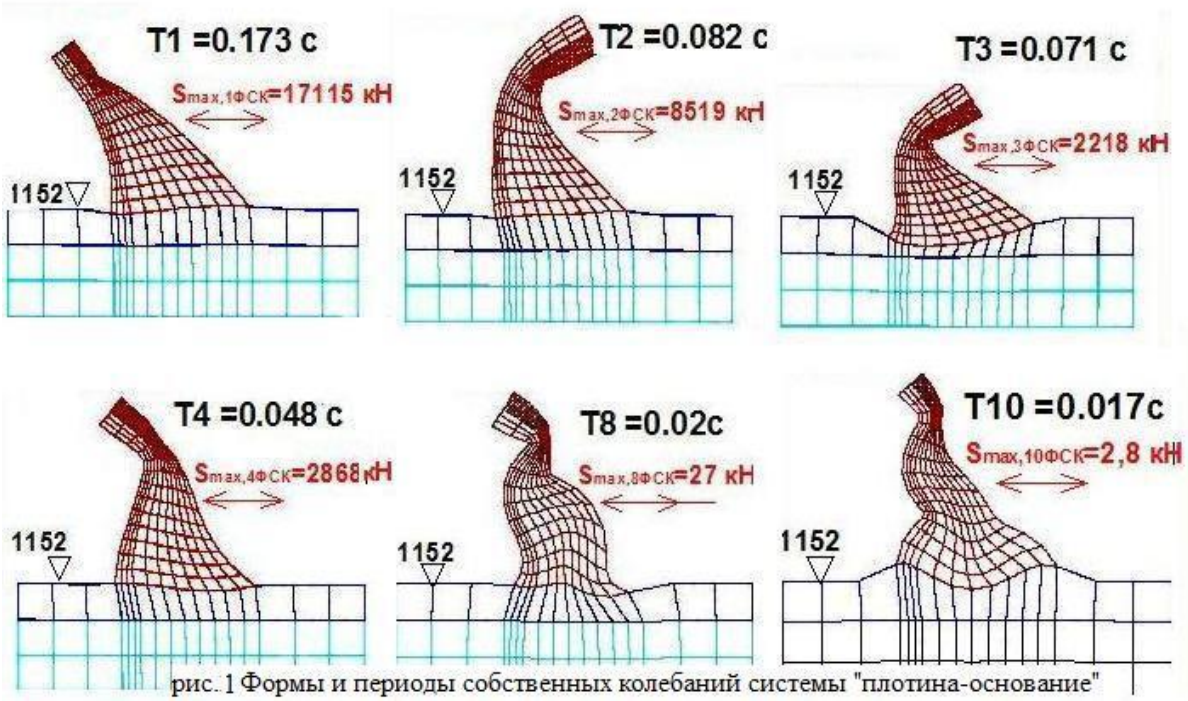


рис. 1 Формы и периоды собственных колебаний системы "плотина-основание"

Формы 5÷10 смешанные, в них присутствуют составляющие колебаний по всем направлениям, как в плотине, так и в основании, но высокая частота этих колебаний (более

200 Гц) не создаст больших динамических нагрузок на плотину. Для подтверждения этого предположения для каждой из форм собственных колебаний по линейно-спектральной методике, рекомендованной СНиП П-7-81, были определены сейсмические силы, действующие в расчетных элементах плотины.

Таблица 2

ФСК	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$S=\sqrt{\sum Si}$
T_i,с	0,173	0,082	0,071	0,048	0,03	0,029	0,022	0,02	0,018	0,017	-----
S_i,кН	17115	8519	2218	2868	75	66	31	27	14	2,8	19460

Суммарная сейсмическая сила для всей плотины в целом по каждой из форм собственных колебаний приведена в табл.2. Вклад первой формы составляет около 88%, первой и второй около 98%, первой ÷ четвертой почти 100%. Как видно, вклад форм выше 4-ой в полную сейсмическую силу крайне незначителен и составляет менее 0,01%.

Проведенные расчеты сейсмостойкости бетонной 50-метровой плотины на сжимаемом основании позволяют сделать следующие выводы:

1. Влияние сжимаемого основания на динамическое поведение плотины при землетрясении отражается, прежде всего, на формах и частотах собственных колебаний системы «плотина-основание». Третья форма собственных колебаний – вертикальная и ее полнота связана с влиянием сжимаемого основания. Кроме этого, почти во всех формах присутствует значительная доля вертикальных колебаний, также связанных с деформациями основания.

2. Период основного тона собственных колебаний плотины 0,173с, что меньше периода наибольших ускорений в сейсмических колебаниях основания, который согласно акселерограмме равен 0,55с. Динамические свойства плотины, проявляющиеся в увеличении сейсмического ускорения на гребне плотины по отношению к ускорению в основании не очень высокие, что, скорее всего, объясняется низкочастотным характером акселерограммы. Максимальное ускорение на гребне плотины получено около 8м/с^2, в то время как максимальное ускорение основании 4,9м/с^2 . Степень увеличения ускорений на гребне по сравнению с основанием составляет 1,65 раз, в то время как, согласно стандартной спектральной кривой коэффициента динамичности для периода основного тона коэффициент динамичности может достигать значения 2,2. Это обстоятельство позволяет рекомендовать для расчетов сейсмостойкости плотины подбирать расчетную акселерограмму по периоду основного тона колебаний плотины.

3. Как показали расчеты первых 10-ти периодов и форм собственных колебаний плотины, вклад форм колебаний, чья частота намного выше преобладающих частот внешнего воздействия, в полную сейсмическую силу крайне незначителен. Для бетонной 50м плотины основной вклад в сейсмическую нагрузку получен от первых 4-х форм собственных колебаний, чьи периоды находятся в диапазоне от 0,173с до 0,048с.

Список литературы

1. *Бестужева А.С.* Сейсмостойкость грунтовых плотин. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 1994, с.10-12.

2. *Бестужева А.С., Нгуен Фыонг Лам.* Динамический и спектральный методы определения сейсмической нагрузки, действующей на сооружение при землетрясении//Вестник МГСУ, №1, 2010, с.155-169

3. *Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А., Бестужева А.С. и др.,* Гидротехнические сооружения. Учебник для вузов под редакцией Л.Н.Рассказова, М., АСВ, 2008, т.2, с.57-80.

05.20.01

А.О. Барышов

Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина, инженерный факультет, кафедра технологии и средства механизации в агробизнесе, Ульяновск, alebar222@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЗАТОРА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований дозатора со спирально-винтовым рабочим органом, в частности, зависимости производительности от частоты вращения рабочего органа и конструктивных параметров устройства.

Ключевые слова: *спирально-винтовой рабочий орган, конический бункер, коэффициент вариации.*

Целью данной работы является подтверждение теоретических зависимостей и предположений при исследовании дозатора сыпучих материалов, а также определение оптимальных параметров работы дозатора и настройки производительности сыпучего материала.

Одним из основных параметров характеризующих работу дозатора является производительность и коэффициент вариации, которые зависят от конструктивных параметров установки и частоты вращения рабочего органа.

Дозатор (рис. 1) состоит из бункера 8, на котором установлен вибратор 4, а внизу расположен спирально – винтовой рабочий орган 6. Рабочий орган 6 расположен в кожухе 7, на одном конце которого выполнено выгрузное окно 5. Привод дозирующего органа 6, осуществляется от электродвигателя 12 при помощи гибкой муфты 11. Бункер 8 соединен с кожухом 7 эластичной муфтой 9. Бункер установлен на пружинах 10. В верхней части бункера 8 установлена перемычка 3, на которой посредством шарнира 2 вертикально по центру выпускного отверстия бункера установлена штанга 1.

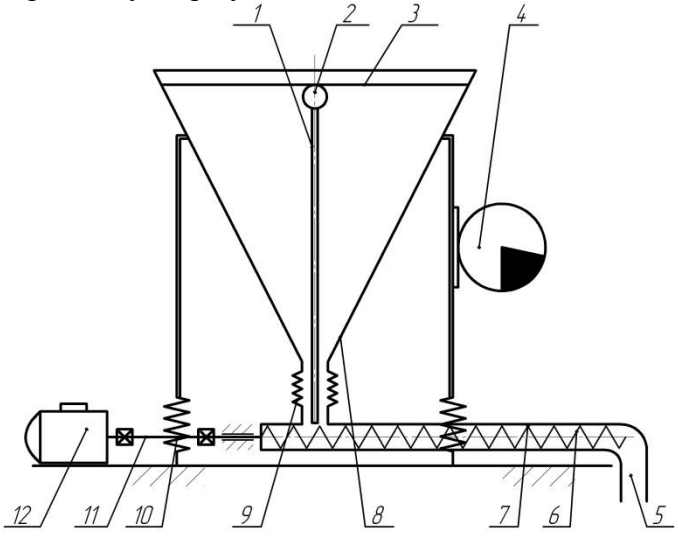


Рис.1 – Дозатор

Установка работает следующим образом, сыпучий материал в бункере вибрируется со штангой при помощи вибратора для предотвращения сводообразования и слеживаемости. Далее сыпучий материал захватывается витками рабочего органа и движется в кожухе в сторону выгрузного окна.

При исследовании дозатора по определению использовались спирально-винтовые рабочие органы диаметром $d_н$ =15; 20; 25; 35 мм, шагом винтовой линии S =20 мм, диаметром

проволоки δ=3 мм, длина кожуха L=0,24 м, внутренние диаметры кожуха D_k=28; 36 мм, частота вращения рабочего органа равнялась при этом n=100…1000 мин$^{-1}$. В качестве сыпучего материала применено – бактериальное удобрение «Бисолбифит» насыпной плотностью ρ=360 кг/м^3 и влажностью W=2%.

Рассчитаем результаты для случая d_H=15 мм, D_k=28 мм, n=100 мин$^{-1}$:

Производительность дозатора определим [1, 3], по формуле:

$$Q = m / t_П = 0{,}29 \text{ г/с} = 1{,}04 \text{ кг/ч} = 2{,}8 \text{ дм}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где m - масса выданной порции за промежуток времени, г; $t_П$ - продолжительность выдачи порции материала, с.

Для оценки погрешности дозирования [2] использовали формулу:

$$\eta = \frac{100}{m_{ср}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (m_i - m_{ср})^2}{n-1}} = 3{,}33\% \quad (2)$$

где $m_{ср}$ - средняя масса материала в пробе, г; m_i - масса материала в i-той пробе, г; n - общее число проб.

Описание экспериментальных данных подачи при дозировании сыпучего материала спирально-винтовым рабочим органом с различными диаметрами винта и кожуха представлено на рисунке 2.

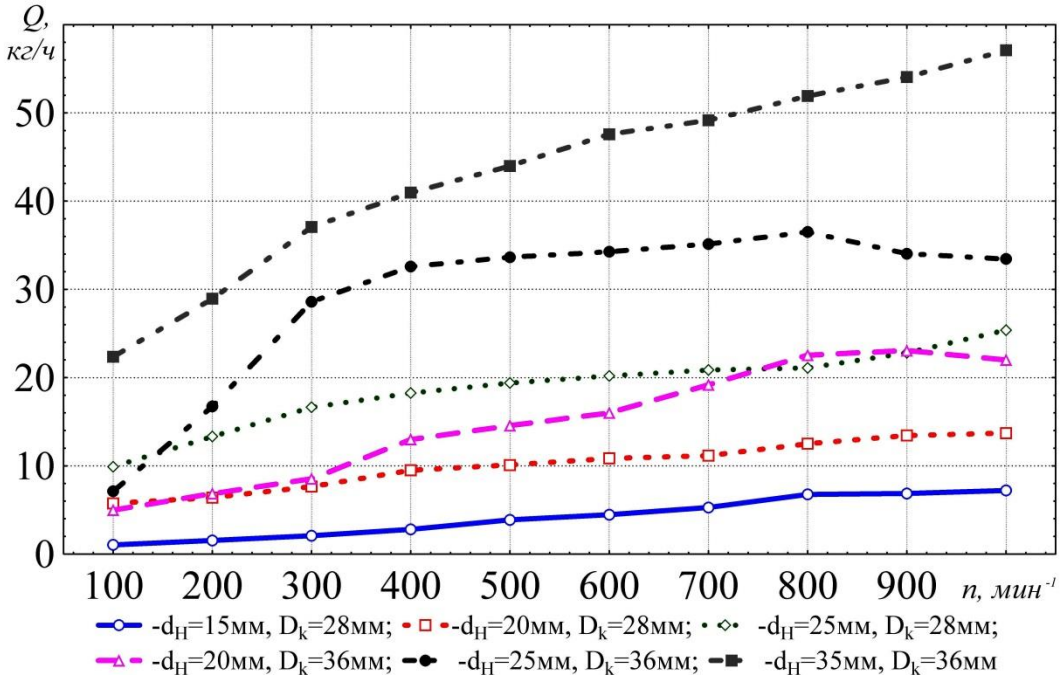
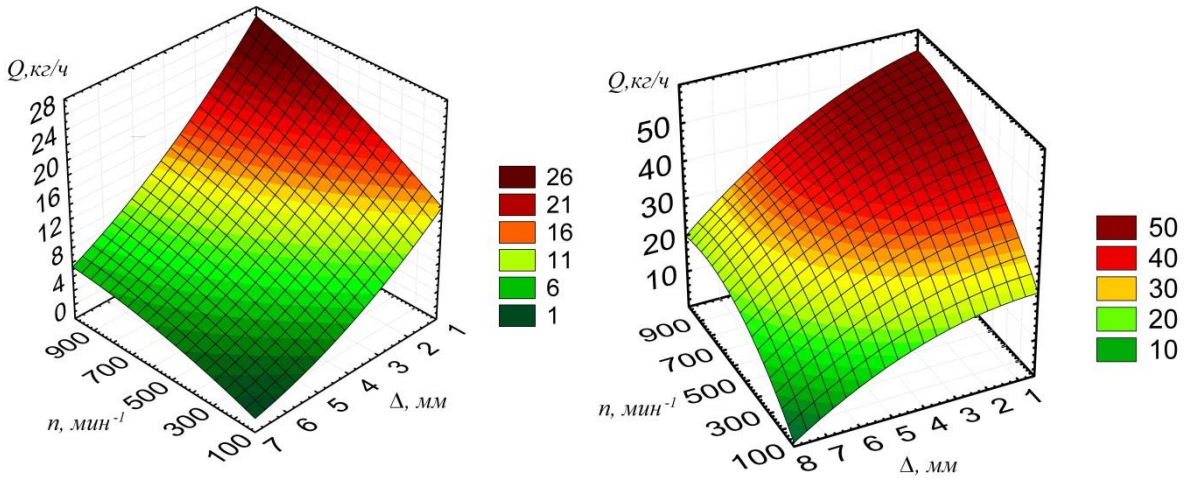


Рис. 2 – Зависимость производительности Q при различных диаметрах рабочего органа d_H и кожуха D_k от частоты вращения n.

Далее для анализа эффективности работы спирально-винтового дозатора при D_k=28 мм и D_k=36 мм были получены данные и построены уравнения регрессии (3) и (4) соответственно, описывающее характер изменения зависимости подачи Q, (кг/ч) сыпучего материала от частоты вращения спирали n (мин$^{-1}$) и зазора между спиралью и кожухом Δ (мм). представленное на рисунке 3.

$$Q = 15{,}486 + 2{,}121 \cdot 10^{-2} n - 3{,}89\Delta - 4{,}83 \cdot 10^{-6} n^2 - 1{,}409 \cdot 10^{-3} n\Delta + 0{,}216\Delta^2 \quad (3)$$

$$Q = 15{,}16 + 7{,}889 \cdot 10^{-2} n + 0{,}512\Delta - 3{,}862 \cdot 10^{-5} n^2 - 1{,}942 \cdot 10^{-3} n\Delta - 0{,}378\Delta^2 \quad (4)$$



а) б)

Рис. 3 – Зависимость производительности Q: а) D_k=28 мм; б) D_k=36 мм

Из зависимости, полученной из уравнения регрессии (3), установлено, что максимальное значение подачи Q=26,78 кг/ч при частоте вращения $n = 1000$ мин$^{-1}$ и зазоре Δ=1 мм, из уравнения регрессии (4), установлено, что максимальное значение подачи Q=54,62 кг/ч при частоте вращения $n = 1000$ мин$^{-1}$ и зазоре Δ=0,5 мм.

При анализе подачи дозатора при различных диаметрах спирали и кожуха выявлено, что наиболее оптимальными параметрами и обладающие широким диапазоном регулирования дозирования, является применение d_H=25 мм при D_k=28 мм, d_H=35 мм при D_k=36 мм.

На рисунке 4 представлена зависимость подачи материала от частоты вращения спирального винта в сравнении с теоретическими исследованиями.

При d_H=25 мм, D_k=28 мм построено уравнение (5) теоретической зависимости производительности Q, (кг/ч) сыпучего материала от частоты вращения спирали n (мин$^{-1}$):

$$Q = 9,744 + 2,549 \cdot 10^{-2} n - 1,115 \cdot 10^{-5} n^2 . \quad (5)$$

При d_H=35 мм, D_k=36 мм построено уравнение (6):

$$Q = 20,15 + 6,717 \cdot 10^{-2} n - 3,136 \cdot 10^{-5} n^2 . \quad (6)$$

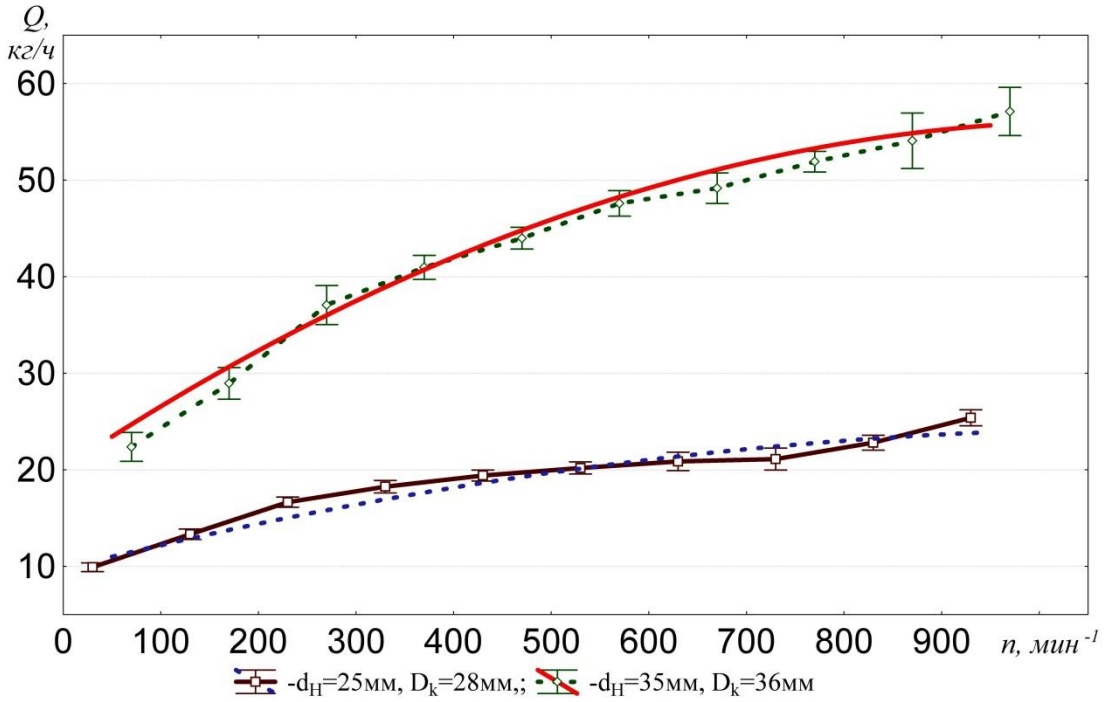


Рис. 4 – Зависимость подачи сыпучего материала от частоты вращения спирального винта в сравнении с теоретическими данными

В таблице 1 представлены результаты определения коэффициента вариации дозатора при различных параметрах устройства.

Таблица 1 – Результаты определения коэффициента вариации η (%)

D_k, мм	28			36		
d_H, мм / n, мин$^{-1}$	15	20	25	20	25	35
100	3,33	3,67	1,82	2,09	1,75	2,69
200	2,25	2,71	1,62	2,63	1,84	2,28
300	1,67	4,6	1,27	1,62	1,55	2,2
400	3,27	3,29	1,43	1,92	1,12	1,22
500	2,36	2,59	1,17	2,27	1,61	1,03
600	2,05	3,24	1,24	1,92	1,32	1,12
700	3,01	3,59	1,85	1,72	1,49	1,29
800	3,20	3,41	2,17	0,86	1,07	0,83
900	3,07	2,93	1,37	2,21	0,89	2,14
1000	4,64	2,68	1,32	1,5	1,57	1,76
Среднее	2,89	3,27	1,53	1,87	1,42	1,66

Заданная норма дозирования регулировалась за счет изменения частоты вращения рабочего органа, с помощью частотного преобразователя тока, изменяющий частоту вращения привода.

В ходе исследования дозирования, получены теоретические зависимости подачи Q сыпучего материала от частоты вращения n спирального винта, входящие в доверительный интервал. Выявлены коэффициенты вариации дозирования при различных параметрах, таких как наружный диаметр спирального винта d_H, внутреннего диаметра кожуха D_k и частоты вращения рабочего органа

Список литературы

1. *Артемьев В. Г.* Теория пружинных транспортёров сельскохозяйственного назначения. Ульяновск, 1997. 245 с.

2. *Першина С.В., Каталымов А.В., Однолько В.Г., Першин В.Ф.* Весовое дозирование зернистых материалов. – М.: Машиностроение, 2009. 260 с.

3. *Ромакин Н.Е.* Машины непрерывного транспорта: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений – М.: Издательский центр «Академия», 2008. 432 с.

05.17.08

В.Ф. Беккер

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал, Кафедра автоматизации технологических процессов,
Березники, bekker@bf.pstu.ac.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ ДВУХУРОВНЕВОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В ТУРБУЛЕНТНОЙ ГИДРОДИНАМИКЕ ТРЕХФАЗНОГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ

Показана теоретическая возможность, практический способ и условия организации двухуровневой неоднородности в турбулентной гидродинамике трехфазного псевдоожиженного слоя, интенсифицированной введением дополнительных подвижных элементов в тетраэдрические и октаэдрические пустоты плотнейшей шаровой упаковки.

Ключевые слова: *трехфазное псевдоожижение, газожидкостная структура, интенсификация гидродинамики, подвижная насадка.*

В абсорберах с подвижной насадкой взаимодействие газа и жидкости характеризуется значительной величиной и скоростью обновления поверхности контакта взаимодействующих фаз. Инициирующую роль в создании гидродинамической обстановки в рабочем объеме абсорбера выполняет подвижная насадка, хаотическое перемещение которой предотвращает образование сквозных каналов и способствует равномерному распределению, турбулизации и диспергированию газожидкостного потока.

Хаотически перемещаясь, элементы насадки соударяются друг с другом. Эти удары сопровождаются с резким изменением вектора скорости движения, способствующего высокой интенсивности перемешивания взаимодействующих фаз [4]. Перемешивающий эффект движения насадки соразмерен скорости ее движения. Результирующая же скорость движения элемента насадки зависит от его массы, поэтому, выбирая массу элемента насадки, можно управлять его скоростью. При выборе массы нужно учитывать накладываемые ограничения, реализация которых должна обеспечивать равномерное распределение элементов по объему абсорбера, не зависимо от их размеров [3].

В качестве критерия в такой задаче выбора предлагается [2] рассматривать степень заполнения подвижной насадкой в статическом состоянии рабочего объёма абсорбера. Идеальной является шаровая упаковка, сложенная жесткими равновеликими сферами, касающимися друг друга и плотнейшим образом заполняющая пространство. Такую шаровую упаковку образуют параллельные равноудаленные слои равновеликих шаров, плотно примыкающих друг к другу. Каждый шар верхнего слоя находится в «треугольной» лунке, образованной тремя такими же шарами нижнего слоя, и касается их, т.е. имеет в своем слое шесть ближайших соседей – таких же шаров, которых он касается. Число «треугольных» лунок в слое вдвое больше числа шаров, где фрагмент «шарового» слоя, выделенный гексагоном, содержит три шара и шесть лунок. Верхний последующий слой обязательно смещен по отношению к нижнему слою, поскольку шары верхнего слоя находятся над лунками нижнего слоя. Возможны двухслойная гексагональная и трёхслойная кубическая плотнейшие шаровые упаковки.

Промежутки, замкнутые между равновеликими шарами двух соседних слоев в плотнейшей шаровой упаковке, представляют собой пустоты. Тетраэдрическая пустота заключена между четырьмя касающимися друг друга равновеликими шарами, центры которых расположены, как вершины тетраэдра. Октаэдрическая пустота заключена между шестью равновеликими шарами, центры которых расположены, как вершины тетраэдра. Как тетраэдрические, так и октаэдрические пустоты могут быть полностью или частично заполнены шарами другого размера (в отличие от шаров, слагающих плотнейшую шаровую

упаковку).

В тетраэдрическую пустоту можно вписать шарик радиусом 0,22R, где R – радиус шаров плотнейшей упаковки, а в октаэдрическую пустоту можно – шарик радиусом 0,41R. На N шаров любой плотнейшей шаровой упаковки приходится N октаэдрических пустот и 2N тетраэдрических пустот. Однако практически можно использовать только шары радиусом 0,22R, так как шары радиусом 0,41R будут случайным образом произвольно распределяться как по подходящим для них октаэдрическим пустотам, так и по тесным для них тетраэдрическим пустотам, нарушая плотнейшую шаровую упаковку.

Организованная хаотически движущимися и постоянно соударяющимися элементами подвижной насадки гидродинамика трехфазного псевдоожижения представляет собой иерархию вихрей (возмущений или неоднородностей) разных порядков, отличающихся характерными масштабами и скоростями [1]. Самые крупные из этих возмущений создаются шарами радиуса R. Это возмущения первого порядка, характеризующиеся масштабом длины $l_1 = R$, сравнимым с типичным масштабом всего потока в аппарате с подвижной насадкой и масштабом скорости u_1, сравнимым с изменением скорости на расстояниях порядка R, заимствуют свою энергию непосредственно из осредненного движения потока. Они возникают из-за неустойчивости этого движения при достаточно большом Re. Но при очень большом числе Рейнольдса неоднородностей первого порядка, создаваемых движением отдельного элемента подвижной насадки $\mathrm{Re}_1 = u_1 l_1 / \nu$ (здесь ν – кинематическая вязкость среды) также будет велико. Эти крупномасштабные возмущения в свою очередь будут неустойчивыми и, распадаясь, будут порождать турбулентные возмущения второго порядка (еще меньшего масштаба $l_2 = 0.22R$ с характерной скоростью u_2), передавая им часть своей энергии. Таким способом происходит организация двухуровневой неоднородности в гидродинамике трехфазного псевдоожижения.

Рассмотрим два движущихся друг за другом со скоростями v_1 и v_2 абсолютно упругих шара массами m_1 и m_2, которые соударяются в некоторый момент времени, т.к. $v_1 > v_2$. Определим скорости u_1 и u_2 этих шаров после соударения. Предполагая, что шары движутся по горизонтальной плоскости, применим к этой задаче закон сохранения энергии и закон сохранения импульса.

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2};$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2.$$

Преобразуем полученную систему уравнений к виду

$$m_1 \left(v_1^2 - u_1^2 \right) = m_2 \left(u_2^2 - v_2^2 \right); \quad (1)$$

$$m_1 \left(v_1 - u_1 \right) = m_2 \left(u_2 - v_2 \right). \quad (2)$$

Разделим первое уравнение на второе;

$$v_1 + u_1 = u_2 + v_2. \quad (3)$$

Решая систему уравнений (2) и (3) относительно неизвестных скоростей u_1 и u_2, получаем

$$u_1 = \frac{\left(m_1 - m_2 \right) v_1 + 2 m_2 v_2}{m_1 + m_2}; \quad (4)$$

$$u_2 = \frac{\left(m_2 - m_1 \right) v_2 + 2 m_1 v_1}{m_1 + m_2}. \quad (5)$$

Полученные выражения для скоростей u_1 и u_2 можно использовать для любого

направления движения первоначальных скоростей v_1 и v_2.

Предположим (см. рис. 1), что шар массой m_1 движется со скоростью v_1, а шар массой m_2 покоится ($v_2 = 0$). Тогда формулы (4) и (5) примут вид:

$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}; \quad u_2 = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2}. \qquad (6)$$

Причем, если $m_1 > m_2$, оба шара после взаимодействия будут двигаться в сторону, куда направлена скорость $\overline{v_1}$. Если же $m_1 < m_2$, то первый шар после взаимодействия отскочит в обратную сторону ($u_1 < 0$), а второй будет двигаться в направлении скорости $\overline{v_1}$. Если же массы шаров одинаковы, после взаимодействия первый шар остановится, ($u_1 = 0$), а второй будет двигаться со скоростью $\overline{v_1}$.

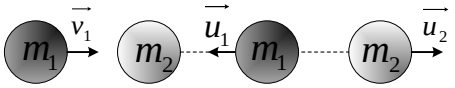


Рис. 1. Соударение движущегося шара m_1 с покоящимся шаром m_2.

Выполнены расчеты скоростей шаров большой массы m_1= 5 г и малой массы m_2 = 1,1 г при различной начальной (до соударения) скорости большого шара v_1, изменяющейся в пределах от 0 до 2,2 м/с. Полученные зависимости скоростей шаров в результате их соударения представлены на рис. 2.

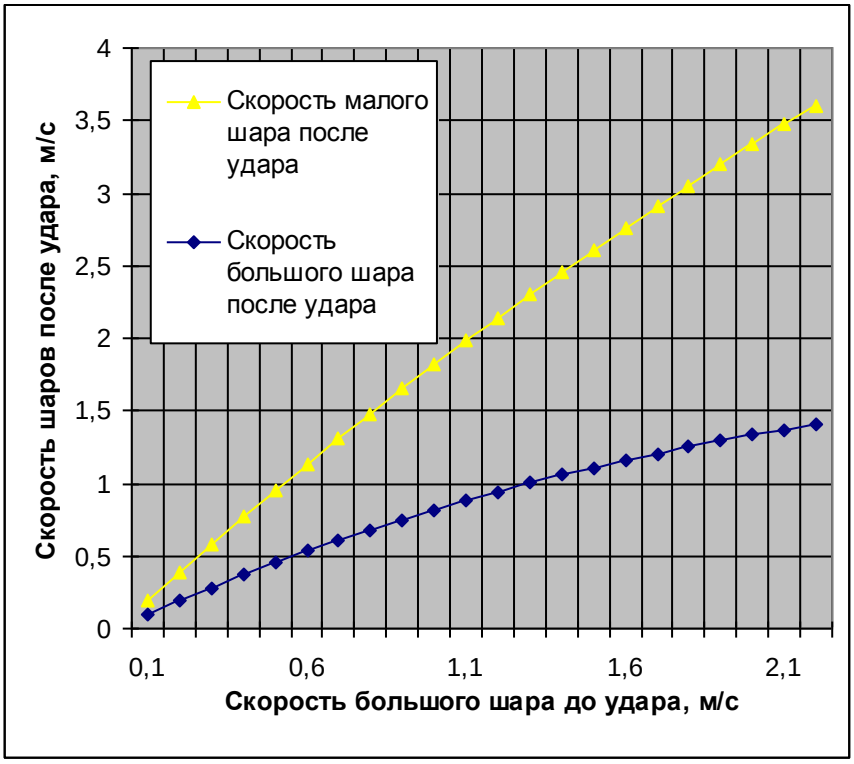


Рис. 2. Зависимости скоростей шаров после соударения от начальной скорости большого шара

На всем диапазоне исследуемых случаев скорость малого шара увеличивается после соударения более, чем в два раза (так при v_1= 2,2 м/с получены значения скоростей u_1= 1,406 м/с и u_2 = 3,607 м/с). Следовательно, есть основания надеяться, что присутствие двигающихся с большой скоростью шаров малой массы существенно увеличит

интенсивность турбулизации трехфазного псевдоожиженного слоя.

Особенностью нецентрального соударения является способность наряду с диссипацией направленной энергии (вырождение кинетической энергии направленного движения) формировать хвосты из быстрых шаров в распределении Максвелла по скоростям в равновесном состоянии. Именно благодаря нецентральному соударению появляется вероятность того, что много медленных шаров могут разогнать одну ин шар до очень большой скорости. Это хорошо видно на такой простой модели. Если быстрый шар перпендикулярно его скорости ударит в нужный момент медленный шар и передаст ему свой малый импульс, то импульс быстрого шара, векторно сложившись с полученным малым импульсом, дополнительно увеличится. Уменьшающаяся вероятность подобного последовательного воздействия медленных шаров на быстрый шар может разогнать его до очень больших скоростей.

Экспериментальная проверка динамического распределения шаров по пустотам показывает удовлетворительное их размещение в процессе псевдоожижения, а также существенную интенсификацию его турбулизации.

Список литературы

1. *Беккер В.Ф.* Введение масштаба геометрического подобия в описание гидродинамики трехфазного псевдоожиженного слоя. Научно-технический вестник Поволжья – №3, 2012. – С. 77-79.
2. *Беккер В.Ф*. Организация движения подвижной насадки в трехфазном псевдоожиженном слое. Научно-технический вестник Поволжья – №5, 2013. – С. 115-118.
3. *Беккер В.Ф.* Стратегия многоуровневого физического моделирования промышленной абсорбционной колонны с подвижной насадкой. Научно-технический вестник Поволжья – №1, 2012. – С. 85-90.
4. *Беккер В.Ф.* Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. Пермь: ПГТУ, – 2010. – 208 с.
5. *Синай Я.Г.* Динамические системы с упругими отражениями // Успехи математических наук – 1970. – Т.25 – Вып.2. – С. 141-192.

05.07.05

С.Л. Белоусов, И.Е. Евдокимов, А.А. Журавлев,
Б.Ю. Ященко, А.А. Яковлев, В.В. Донских

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет) «МАИ»,
Tempero.m@gmail.com

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОПЛА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье приведены результаты расчёта и краткая методика численного исследования излучения сопла модельного двигателя на разных углах визирования. Математическое моделирование излучения выполнялось в предположении диффузных свойств поверхностей и показало хорошее соответствие с экспериментальными результатами. Статья полезна специалистам и исследователям в области оптики, лучистого теплообмена и численного моделирования.

Ключевые слова*: инфракрасное излучение; численное моделирование.*

Расчёт пространственного распределения лучистой энергии [1-3] представляет актуальную задачу во многих областях науки и техники и особенно в авиации. Существует большая потребность со стороны проектировщиков авиационных двигателей в универсальных алгоритмах расчёта элементов двигателя для точного прогноза значений силы излучения изделия в зависимости от угла визирования.

К настоящему времени было опубликовано несколько работ, посвящённых изучению небольших авиационных двигателей [4-7]. В ходе исследований на кафедрах 201 и 208 МАИ, была показана возможность экспериментального исследования имеющегося малогабаритного двигателя ТС-21 в целях опытной отработки расчётных методик, что позволяет упростить не только экспериментальные, но и расчётные работы.

На рисунке 1 представлена схема расчёта, используемая для вычисления прямого излучения каждой из фасеток излучающей поверхности (в данном случае это dA), не затенённой другими фасетками. Площадка dF называется *площадкой суммирования* и служит для интегрирования лучистых потоков приходящих со всех элементарных площадок излучающей поверхности, которые "видны" с неё. При этом, dF не излучает.

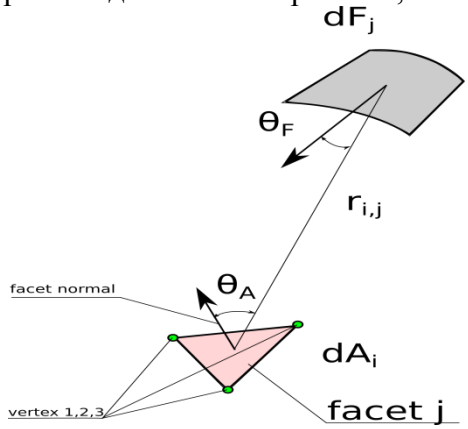


Рисунок 1. Расчётная схема для элементарной площадки сферы суммирования и фасетки

В процессе исследования проводился расчёт излучения ламбертовых поверхностей с учётом переотражений методом линейных уравнений. Данный метод можно условно разделить на три основных этапа: построение графа видимости площадок, расчёт испускаемого потока излучения для каждой из элементарных площадок (с учётом

переотражений), расчёт падающего потока излучения для каждого элемента разбиения сферы суммирования.

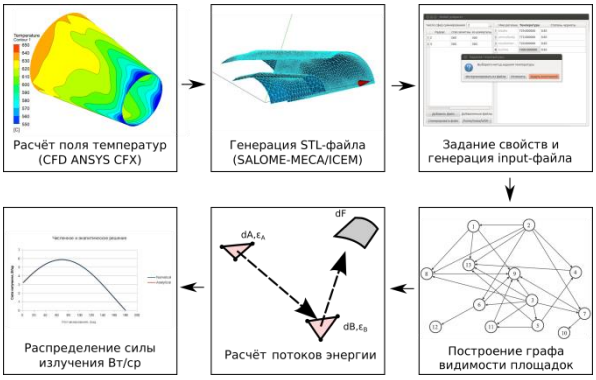


Рисунок 2. Общая схема расчёта ИК-излучения ТС-21

На рисунке 2 приведена последовательность создания математической модели и расчёта для малогабаритной двигательной установки ТС-21. Интерполяция температур на множество точек поверхности, заданной элементарными треугольниками, далее является характерной частью задания исходных данных. Полученные результаты, а также исследуемое тело могут быть представлены графически при помощи специальных визуализаторов.

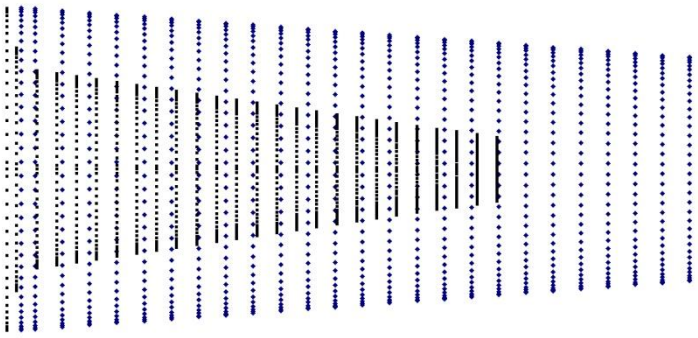


Рисунок 3. Расчётная модель излучателя

Другой подход к моделированию распределения излучения заключался в использовании программы Б. Ященко [8]. Разработанная модель представляла поверхности в аналитическом виде в отличие от подхода, описанного выше. Вычисление уровня излучения по модели «конус в конусе» (реальное сопло имеет вертикальные стойки), изображённой на рисунке 3, позволило получить ориентировочные значения силы излучения в конкретной точке наблюдения.

На рисунке 4 линия *rad_calc* показывает результаты расчёта по описанной методике на сфере суммирования R=10 м, линии *2_m…* соответствуют результатам расчёта конкурентной программы Ященко, описанной [8]. В расчёте *rad_calc_1* использованы исходные данные, аналогичные расчёту *2m, e=0.85, T1*, в расчётах *rad_calc_2, rad_calc_3* в качестве исходных данных использованы результаты теплового расчёта ANSYS CFX для внутренней стенки и стоек сопла [7].

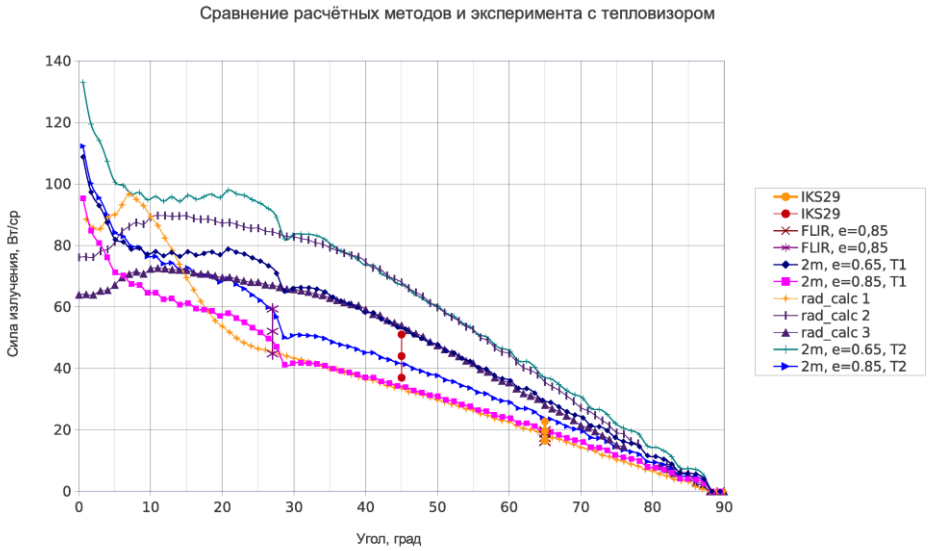


Рисунок 4. Расчётно-экспериментальные результаты

Из рисунка 4 следует, что конкурентные подходы при одних и тех же исходных данных показывают одинаковые результаты (линии *rad_calc_1* и *2m, e=0.85, T1*). Различия обнаруживаются только на острых углах визирования, но при этом, максимальные значения силы излучения равны.

В результате проведённых исследований были успешно разработаны и экспериментально проверены математические модели, позволяющие моделировать распределение теплового излучения в пространстве. При решении задачи применялись программные комплексы вычислительной газовой динамики для численного моделирования теплообмена, а также разработанные программы для расчёта распределения теплового излучения, реализующие алгоритмы параллельных распределённых вычислений для ускорения расчётов сложных поверхностей, состоящих из десятков тысяч элементарных площадок.

Список литературы

1. *Оцисик М.Н.,* Сложный теплообмен.- М., «Мир», 1976 г..
2. *Modest, M.F.,* Radiative Heat Transfer, Academic Press, New York 2nd edn. 2003.
3. *Зигель Р., Хауэлл Дж.,* Теплообмен излучением /Пер. с англ.- М., «Мир», 1975 г.
4. *J. Dix, A.J. Saddington, K. Knowles and M.A. Richardson,* “Infra-red signature reduction study on a small-scale jet engine”, The Aeronautical J., February 2005, p. 83.
5. *Guarnieri, J.A.,* Thermal signature reduction through liquid nitrogen and water injection. Master’s thesis, Texas A\& M University, College Station, TX, December 2004.
6. *Léonard, O., Thomas, J.P., Borguet, S.,* “Ten Years of Experience With a Small Jet Engine as a Support for Education”, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 131, No. 1, Jan. 2009.
7. *Евдокимов И.Е. Филиппов Г.С. Яковлев А.А.* Газодинамический и тепловой расчёт работы дозвукового сопла малогабаритного трд на базе турбостартера ТС-21 // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. Т. 6. С. 228–233.
8. *Николаенко В.С., Сорокин А.А., Филиппов Г.С., Ященко Б.Ю.,* Расчёт пространственного распределения энергии сложного излучателя; 9-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2010», 16-18 ноября 2010 г., Москва. Тезисы докладов. - Спб.: Мастерская печати, 2010. С. 258.

05.07.05

С.Л. Белоусов, И.Е. Евдокимов, А.А. Журавлев,
Б.Ю. Ященко, А.А. Яковлев, В.В. Донских

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет) «МАИ»,
Tempero.m@gmail.com

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОПЛА МОДЕЛЬНОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье приведена методика экспериментальных замеров уровней излучения модельного двигателя на разных углах визирования. Экспериментальное исследование было проведено с применением тепловизора FLIR S60. Суммарные лучистые потоки были получены путём обработки термограмм.

Ключевые слова: *инфракрасное излучение; экспериментальное исследование.*

Существует ряд работ, посвящённых изучению небольших авиационных двигателей, [1-4]. Тенденция применения таких двигателей в учебных и научных целях имеет под собой основание существенного снижения расходов на приобретение и эксплуатацию небольшого двигателя в совокупности с измерительной аппаратурой стенда.

На кафедрах 201 и 208 МАИ, были проведены экспериментальные исследования имеющегося малогабаритного двигателя ТС-21 (рисунок 1) в целях опытной отработки экспериментальных и расчётных методик.

На рисунке 2(а) приведено тепловизионное изображение исследуемого двигателя, полученное непосредственно во время работы. Из рисунка понятно основное достоинство использования тепловизора - получение значительной информации о конструкции в целом за счёт обработки и графического вывода данных матричного микроболометрического сенсора.

Традиционный метод использования тепловизионных камер заключается в получении поверхностных температурных полей и иногда - в измерении степени черноты поверхностей для систем, работающих в двух волновых диапазонах.

Рисунок 1. Двигатель ТС-21.

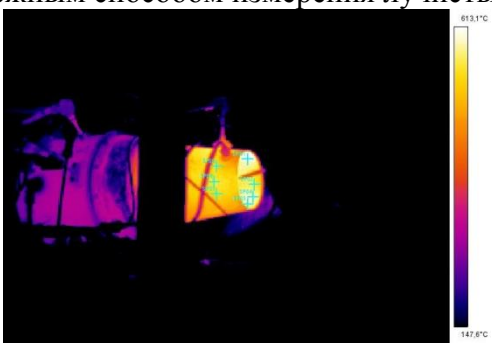
Используемая камера FLIR S60 работает только в длинноволновом диапазоне инфракрасных волн, поэтому для уточнения её измерений был применён метод контрольного замера температур поверхности термопарами. Данная камера не позволяет вводить температурно-зависимую степень черноты, и поэтому, результаты измерений в случае сильно неравномерных температурных полей будут содержать ошибку. По результатам пробных запусков двигателя разница температур поверхности сопла может достигать 100-200^{o}C (что соответствует колебанию степени черноты 0,72-0,82 для окисленного железа при 400-700 К [6]).

При осуществлении работ по экспериментальным замерам уровня излучения двигателя были опробованы две схемы измерений:

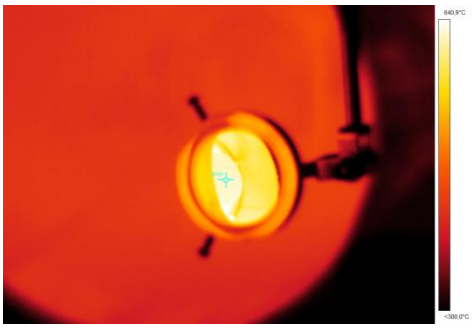
- схема с непосредственным наблюдением сопла;
- схема с использованием отражающего зеркала;

В случае использования эллиптического зеркала схема становится эвивалентной схеме с использованием дополнительной линзы. Использование зеркала позволяет изучить излучение локальных областей, несколько повышая разрешающую способность прибора. Пример использования зеркала с внешним покрытием приведён на рисунке 2(б).

Также допустимо установить высокотемпературные зеркала ближе к основной струе на более острые углы визирования. Оптическая система с применением зеркал имеет гораздо большие возможности при детальном исследовании излучения двигателя, но более трудоёмка для изготовления и расчёта. Перечисленные особенности применения зеркальных оптических систем очевидны, но использование тепловизора является более простым и надёжным способом измерения лучистых потоков.



а) Тепловизионное изображение ТС-21



б) Экспериментальная термограмма при использовании зеркала

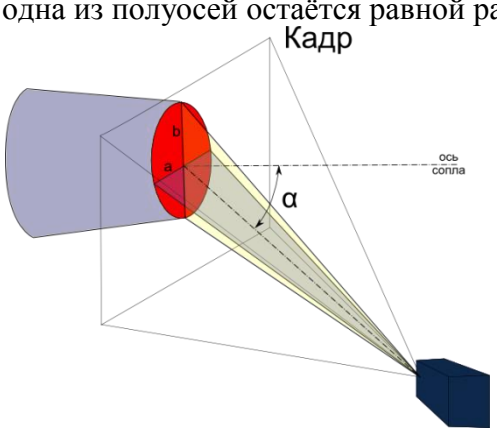
Рисунок 2. Изображение исследуемого объекта на тепловизоре.

Ввиду изложенных особенностей термографии, эксперимент строился следующим образом:

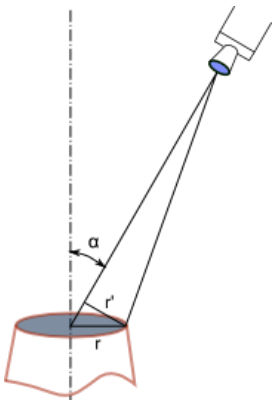
- выбирался угол установки, и с помощью штатива тепловизор надёжно устанавливался для проведения измерений;
- устанавливалась периодичность сохранения термограмм и запускался механизм автоматического сохранения;
- запускался стенд;

При установке тепловизора плоский угол α, изображённый на рисунке 3 (а), образованный осью объектива тепловизора и осью симметрии сопла, стремились сделать с наименьшим наклоном относительно горизонтальной плоскости для удобства обработки экспериментальных данных.

Параметры a и b изображения сопла в кадре, представляющего собой эллипс (см. рисунок 3 (а)), можно измерить в любом графическом приложении. Значения полуосей, измеренные в пикселах, позволяли найти плоский угол α за счёт того, что при наблюдении окружности под углом одна из полуосей остаётся равной радиусу.



а) Схема эксперимента с применением тепловизора



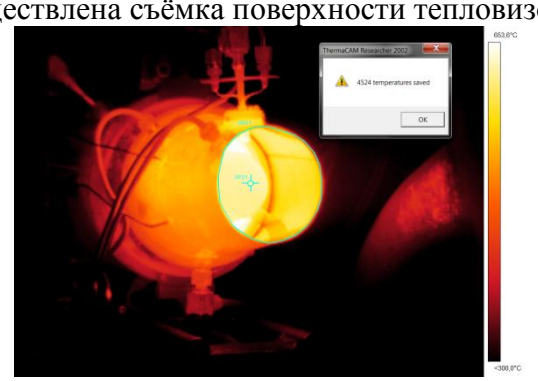
б) Схема к определению угла визирования

Рисунок 3. Различные схемы эксперимента с использованием тепловизора.

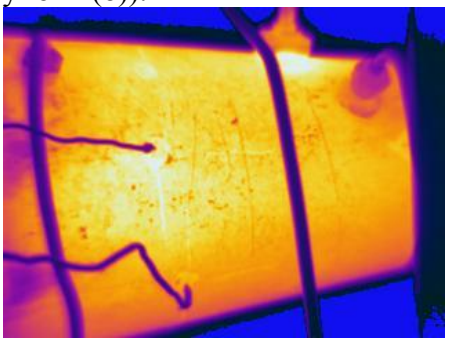
Полученные в результате термографирования кадры далее обрабатывались в специализированной программе ThermaCAM Researcher в следующем порядке:

- выделялась площадь на термограмме, отвечающая срезу сопла (см. рисунок 4(а));
- производился экспорт температур всех точек внутри выделенной области термограммы;
- по полученному распределению температур производился пересчёт в значение силы излучения на данном углу визирования;

В силу того, что используемая тепловизионная камера работает только в одном спектральном диапазоне, на основе результатов термографирования не может быть установлена степень черноты объекта. Для того чтобы найденное распределение температур было точным, необходимо располагать данными о свойствах поверхности. В ходе эксперимента контролировалось тепловое состояние двух точек сопла, также была осуществлена съёмка поверхности тепловизором (рисунок 4(б)).



а) Пример выделения области сопла для экспорта температур



б) Термограмма боковой поверхности сопла с установленными термопарами

Рисунок 4. Экспериментальные термограммы.

Согласно обработке данного изображения, степень черноты в точке, состоящей в непосредственной близости с термопарой (непосредственно точку снимать было нежелательно из-за наличия остатков припоя), составила ε≈0.71, что хорошо согласуется со справочной литературой [6]. При наличии двухспектральной камеры существует возможность построения целостного метода обработки термограмм, позволяющего исключить фактор неизвестности степени черноты наблюдаемых поверхностей. Погрешность метода растёт при увеличении угла и расстояния съёмки. Количественно для $\alpha \approx 27^{o}$, $\varepsilon = 0.85$ методическая погрешность составляет менее 1%.

Согласно экспериментальным замерам, значения суммарной силы излучения, полученные из термограмм, практически соответствует интегральной силе излучения, измеренной спектрофотометром. Это говорит о том, что действительное значение эффективной степени черноты излучателя $\varepsilon_{эфф}$ примерно соответствует выбранному при термографировании значению $\varepsilon_{эфф}\approx 0{,}85$. Однако, учитывая сложный характер изменения ε в зависимости от угла падающего из отражённого излучения, а также собственного излучения элементарной площадки, данное соответствие является специфическим для данного угла наблюдения. Качественные характеристики распределения лучистого потока на углах визирования $\alpha\approx 25^{o}$, полученные расчётным и экспериментальным методом, совпадают: сила излучения в обоих случаях линейна. Количественные расхождения между экспериментальными и расчётными точками находятся в пределах погрешности эксперимента, что свидетельствует о достоверности всех разработанных математических моделей (в первом случае поверхность задавалась аналитически, использовались средние температуры, во втором - дискретно, треугольными площадками с использованием расчётного поля температур).

В результате проведённых исследований было продемонстрировано хорошее соответствие экспериментальных и расчётных результатов, полученных разными методами.

Список литературы

1. *J. Dix, A.J. Saddington, K. Knowles and M.A. Richardson,* "Infra-red signature reduction study on a small-scale jet engine", The Aeronautical J., February 2005, p. 83.
2. *Guarnieri, J.A.,* Thermal signature reduction through liquid nitrogen and water injection. Master's thesis, Texas A\& M University, College Station, TX, December 2004.
3. *Léonard, O., Thomas, J.P., Borguet, S.,* "Ten Years of Experience With a Small Jet Engine as a Support for Education", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 131, No. 1, Jan. 2009.
4. *Евдокимов И.Е. Филиппов Г.С. Яковлев А.А.* Газодинамический И тепловой расчёт работы дозвукового сопла малогабаритного трд на базе турбостартера тс-21 // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. Т. 6. С. 228–233.
5. *Николаенко В.С., Сорокин А.А., Филиппов Г.С., Ященко Б.Ю.,* Расчёт пространственного распределения энергии сложного излучателя; 9-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2010», 16-18 ноября 2010 г., Москва. Тезисы докладов. - Спб.: Мастерская печати, 2010. С. 258.
6. *Козелкин В.В., Усольцев И.Ф.,* Основы инфракрасной техники: Учебник для техникумов.- 3-е изд.,перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1985. - 264 с.: ил.
7. ThermaCAM Researcher User's Manual, FLIR Systems: Billerica, Massachussetts, 2004.

05.13.18

А.В. Белянин, О.В. Егорова, Н.В. Ливенцова

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок, liv_nv@mail.ru

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ПРОИЗВОДСТВА ФТОРА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА

В работе представлен механизм формирования нештатных ситуаций, включающий матрицу формирования нештатных ситуаций и процедуру вероятностного выбора имитируемой ситуации и времени ее продолжительности. Показаны результаты численных экспериментов по проверке работоспособности предложенного механизма.

Ключевые слова: *измерительная система, модель, компьютерный тренажер, вероятностный механизм, нештатные ситуации.*

Для обучения оперативного персонала производства фтора безопасным и эффективным приемам управления технологическим процессом разрабатывается компьютерный тренажер (КТ), структура которого приведена в [1]. Ключевым элементом КТ является тренажерная модель производства (ТМП), выполняющая функции имитации работы технологических установок производства и системы управления. Модель состоит из нескольких взаимосвязанных модулей, реализованных методом математического моделирования [1]. Модель измерительной системы (ИС) электролизера производства фтора является частью ТМП и предназначена для имитации штатной и нештатной работы ИС. В настоящей статье представлен механизм формирования нештатных ситуаций в модели ИС электролизера производства фтора.

Анализ принципов функционирования и опыта эксплуатации ИС показал наличие множества возможных нештатных ситуаций в работе системы, связанных с выходом из строя элементов ИС, обрыва линий связи и т.п. Данные ситуации могут возникать и исчезать в случайные моменты времени по различным причинам. Каждая перечисленная ситуация может вызываться одной или несколькими причинами. В данном случае целесообразно использование вероятностного механизма формирования нештатных ситуаций в модели ИС, обеспечивающего вероятностный выбор имитируемой ситуации с причиной ее вызвавшей и времени продолжительности ситуации [2]. Для реализации такого механизма потребовалось формализованное описание всех возможных нештатных ситуаций. Описание составлено в форме матрицы, фрагмент которой представлен таблицей 1. Такая форма выбрана на основе опыта в области тренажеростроения [2, 4].

Таблица 1 – Фрагмент матрицы формирования нештатных ситуаций

Код ситуации	Ситуация	Признаки неполадок				Код причины	Причина
		K_1	K_2	K_3	K_4		
S10	Падение значений всех измеряемых переменных в нижние границы шкалы измерения	0	0	0	0	100	Отключение блока питания контроллера
S21	Штатный режим работы	1	1	0	0	211	
	Падение значения уровня электролита в нижнюю границу шкалы измерения	0	0	0	0	212	Разрыв связи с контроллером (авария в сигнальной линии измерительного прибора)
						213	Плата не излучает импульсы
						214	Уровень электролита вошел в верхнюю мертвую зону
	Скачок значения уровня электролита в верхнюю границу шкалы измерения	0	0	1	0	215	Уровень электролита вошел в нижнюю мертвую зону
		0	0	0	1	216	Индикация заморожена
	…	…	…	…	…	…	…
S22	Штатный режим работы	1	1	0	0	221	
	Падение значения напряжения на электролизере в нижнюю границу шкалы измерения	0	0	0	0	222	Поломка электрической схемы датчика напряжения
						223	Отключение питания нормирующего преобразователя
	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…

В первой графе матрицы расположены коды ситуаций. Для формирования кода все возможные ситуации были условно разделены на две группы. Первую группу составили ситуации, связанные с нештатной работой контроллера, отвечающего за сбор информации по всем измерительным каналам, вторую – ситуации, вызванные нештатной работой элементов, составляющих измерительные каналы основных технологических переменных (температура и уровень электролита, напряжение на электролизере и др.). Каждой ситуации в группе был присвоен индивидуальный номер. Таким образом, первую цифру кода составил номер группы, а вторую – номер ситуации в группе (например, код S10 соответствует ситуации, связанной с некорректной работой контроллера, S21 – элементов измерительного канала уровня электролита, S22 – элементов измерительного канала напряжения на электролизере и т.п.). Во второй графе размещены описания ситуаций, за развитием которых оператор может наблюдать с пульта реальной АСУ ТП производства. Далее размещаются значения коэффициентов K_i, названных «признаки неполадок». Данные коэффициенты содержатся в математическом описании модели ИС и обеспечивают возможность настройки модели на имитацию той или иной ситуации. Каждой ситуации сопоставлена определенная комбинация значений коэффициентов. В последних двух графах матрицы размещаются код причины,

вызвавшей ситуацию, и ее описание. Первые две цифры кода причины соответствуют коду ситуации, третья – номеру причины.

Непосредственно сам механизм формирования нештатных ситуаций реализуется следующим образом: задается начальное состояние моделируемой измерительной системы (устанавливаются значения «признаков неполадок»). В момент времени t_i происходит вероятностный выбор кода ситуации и номера причины ее вызвавшей, в соответствии с которыми из матрицы формирования нештатных ситуаций извлекается нужная комбинация значений коэффициентов – «признаков неполадок». Далее вероятностно задается интервал времени продолжительности ситуации, по истечении которого процедура выбора кода ситуации и номера причины повторяется. На рис. 1 показан фрагмент графа, описывающего процедуру выбора кода имитируемой ситуации с номером причины ее вызвавшей.

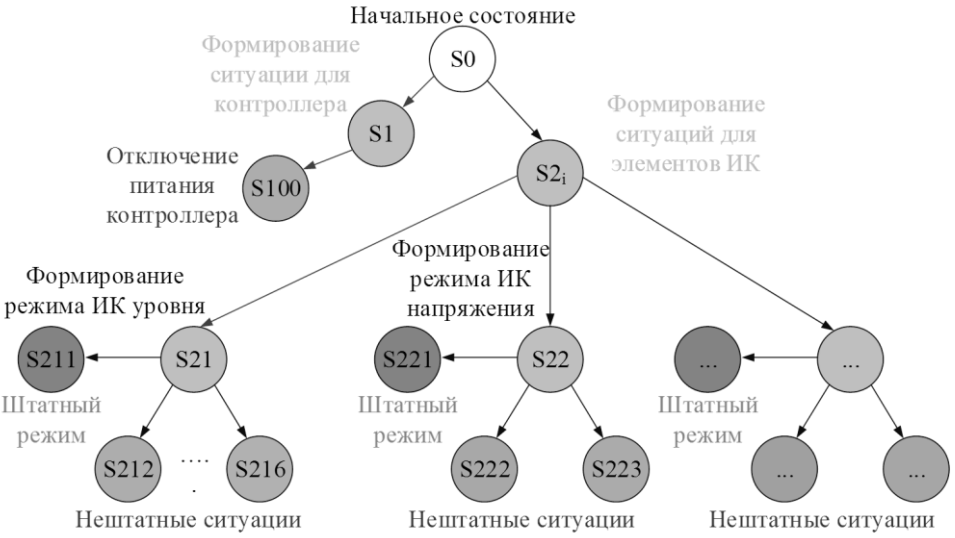
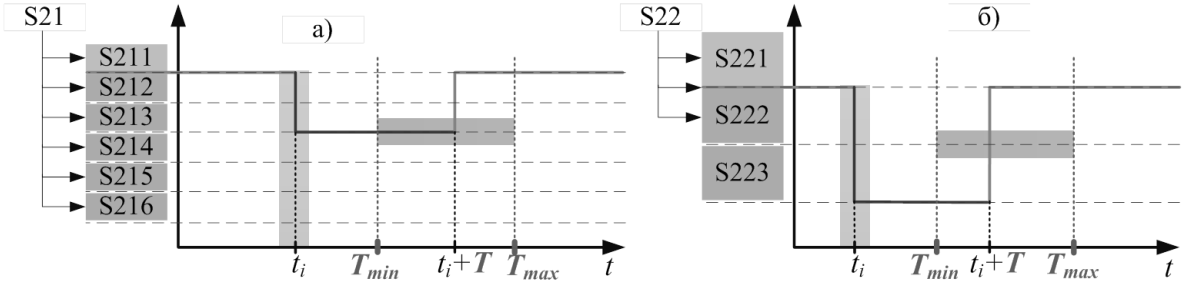


Рис. 1 – Граф выбора имитируемой ситуации

На рис. 2 показаны примеры временных диаграмм, демонстрирующие процедуру выбора интервала времени продолжительности ситуации (*T*).



а – на канале измерения уровня электролита, б – на канале напряжения

Рис. 2 – Временные диаграммы выбора времени продолжительности ситуации

Вероятностный выбор кода ситуации и номера причины ее вызвавшей осуществляется путем моделирования полной группы случайных несовместных событий ($b_1, b_2, ..., b_n$) [2], в которой в качестве отдельного события (b_i) выступает появление кода той или иной ситуации с номером причины ее вызвавшей. В частности, задаются значения вероятностей появления отдельных событий ($P_1, P_2, ..., P_n$) так, чтобы их сумма была равна единице. Далее генератором случайных чисел (ГСЧ), работающим по конгруэнтному методу [5], генерируется случайное число a_2, равномерно распределенное в интервале $(0, 1]$, предварительно разбитым на промежутки в соответствии с рис. 3. Если полученное число попадает в промежуток $(0, P_1)$, то происходит событие b_1 (т.е. выпадает код соответствующей ситуации с номером причины ее вызвавшей), если в $(P_1, P_1 + P_2)$, то происходит событие b_2 и т.д.

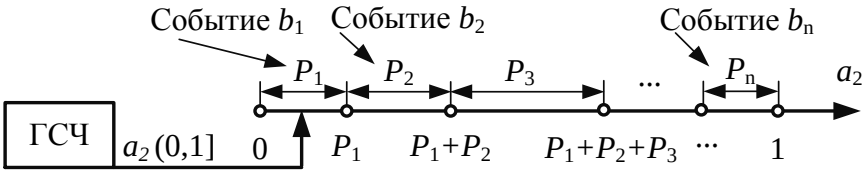


Рис. 3 – Схема моделирования полной группы несовместных событий

Вероятностный выбор интервала времени продолжительности (*T)* имитации ситуации выполняется по следующему выражению [2]:

$$T = -\frac{1}{\lambda}\mathrm{Ln}(a_2),$$

где λ – интенсивность ситуации, определяющая число ситуаций в единицу времени, a_2 – равномерно распределенное от 0 до 1 случайное число, генерируемое также конгруэнтным методом.

Для проверки работоспособности предложенного механизма формирования нештатных ситуаций в модели ИС электролизера был проведен ряд численных экспериментов. С помощью математической модели технологического процесса в электролизере имитировались сигналы измеряемых переменных, которые затем подавались на вход модели измерительной системы электролизера, где на них накладывались сигналы помех, сгенерированные моделью помехи, и выполнялось последующее преобразование моделью измерительных каналов. В ходе данного преобразования осуществлялось инициирование нештатных ситуаций при помощи разработанного механизма, то есть производилось постоянное перезадание коэффициентов ($\overline{K}$) – «признаков неполадок» (значения вероятностей появления кодов ситуаций с номерами причин их вызвавшими задавались на основе результатов анализа данных наблюдений за работой ИС в реальных производственных условиях). Получаемые с выхода модели ИС значения измеряемых переменных затем обрабатывались и анализировались. Результаты имитации возникновения нештатных ситуаций в работе ИС представлены на рис. 4.

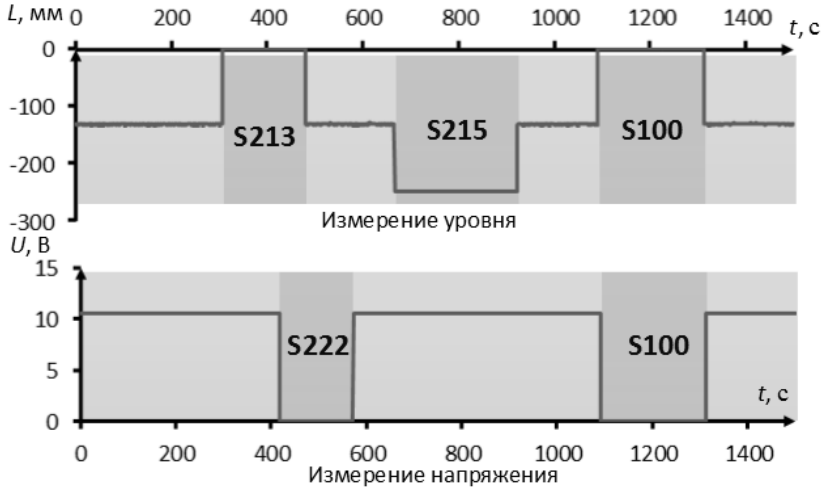


Рис. 4 – Проверка адекватности работы модели в нештатном режиме

На каждом графике серым цветом выделен штатный режим работы ИС, а белым – нештатный с указанием кода нештатной ситуации с номером причины ее вызвавшей (см. таблицу 1).

Таким образом, разработан механизм формирования нештатных ситуаций в модели измерительной системы электролизера, обеспечивающий вероятностный выбор имитируемой нештатной ситуации и интервала времени ее продолжительности. Проведенные численные эксперименты показали работоспособность предложенного механизма и возможность его использования для задач компьютерного тренинга.

Список литературы

1. *Нагайцева О.В., Ливенцова Н.В., Ливенцов С.Н.* // Изв. ТПУ: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. –Т. 315. – № 5. – С.89–93.
2. *Советов Б.Я., Яковлев С.А.* Моделирование систем – М.: Высш. Шк., 2001. – 343 с.
3. *Ивашкина Е.Н., Долганов И.М., Романовский Р.В., и др.* Разработка и применение компьютерных тренажеров для повышения квалификации инженерно-технического персонала нефтеперерабатывающих производств // Изв. ТПУ: Управление, вычислительна техника и информатик. – 2011. –Т.319. – № 5. –С.87–92.
4. *Чиркова А.А.* Автоматизированный обучающий комплекс операторов процесса каталитического риформинга // Дис. канд. техн. наук: 05.13.07. – Санкт-Петербургский государственный технологический университет, 1999. – 182 с.
5. *Кнут Д.* Искусство программирования. – Т.2. – М.: Вильямс, 2000 – 832 с.

05.23.19

Н.С. Бессонова, Т.В. Германова

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно – строительный университет»,
инженерно – экономический институт, кафедра промышленной теплоэнергетики,
Тюмень, sheneps@mail.ru

ОЦЕНКА ИНСОЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ РАЗМЕЩЕНИИ ОБЪЕКТА УПЛОТНИТЕЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ

В работе проведена оценка инсоляционного режима на территории жилой застройки в г.Тюмени при различном размещении объекта «точечной» застройки.

Ключевые слова: *инсоляция жилых территорий, уплотнительная застройка, градостроительство.*

Учет комплекса физических явлений на территории застройки: освещение территорий, акустика, электромагнитные волны, в настоящее время является важной задачей при создании единого методического подхода к сложнейшему комплексу проблем, возникающих при проектировании и размещении объектов. Создание комфорта при разработке планировочных решений на территории необходимо обеспечивать с учетом восприятия этой среды человеком.

Любое здание в процессе как проектирования, так и эксплуатации следует рассматривать в неразрывной связи с окружающей средой, которая находится под непрерывным влиянием множества природных и техногенных факторов. В градостроительстве учет суммарной солнечной радиации является одним из важнейших экологических факторов, обеспечивающих оздоровление окружающей среды и комфортность в городских пространствах и помещениях зданий.

По научно – исследовательским материалам, территория г.Тюмени оценивается по природным и техногенным факторам (силами фГБУ «Гидрометцентра России»), а также в исследовательских работах [1]

Неуклонно возрастающая застройка жилых и общественных зданий в освоенных и близких к центру районах может стать причиной ухудшения инсоляционного режима территорий. Поэтому важной практической задачей является оценка влияния проектируемых зданий не только на существующую застройку (в виду возможности ухудшения микроклимата помещений), но и на близлежащие территории.

Основные требования к инсоляции помещений и территорий изложены в правовой и нормативно – технической документации федерального значения:

- Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»;
- СП 54.13330.2011. Свод правил. «Здания жилые многоквартирные»;
- СанПин 2.2.1/2.1.1.1076-01 Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий»;
- СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно – эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях».

Проанализировав данную правовую и нормативно – техническую документацию можно сформулировать основные положения, предъявляемые к инсоляции:

- здания должны быть спроектированы таким образом, чтобы в жилых помещениях была обеспечена достаточная продолжительность инсоляции в целях создания безопасных условий проживания независимо от срока (ФЗ-№384);
- нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции для помещений жилых зданий устанавливается на определенные календарные периоды в зависимости от типа

квартир, функционального назначения помещений, широты местности. Для г.Тюмени, расположенного на географической широте $57^0$09, время инсоляции составляет не менее 2 часов в день на период с 22 марта по 22 сентября (СанПиН 2.1.2.2645-10);

- нормативная продолжительность инсоляции должны быть обеспечена в одной комнате в одно-, двух- или трехкомнатных квартирах, а в многокомнатных (4 и более комнаты) – не менее чем в двух жилых комнатах (СП 54.13330.2011);

- нормативная продолжительность инсоляции территории детских игровых площадок, спортивных площадок жилых домов, групповых площадок дошкольных учреждений, спортивной зоны должна составлять не менее 3 часов на 50% площади участка независимо от географической широты (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01).

Градостроительное регулирование в области размещения новых объектов на территории сложившейся застройки осуществляется путем установления минимальных расстояния от жилых домов.

Расстояние между жилыми зданиями, жилыми и общественными следует принимать из расчетов инсоляции и освещенности в соответствии с нормативными требованиями (таблица 1), а также в соответствии с противопожарными требованиями.

Таблица 1 - Наименьшие расстояния между зданиями по условиям освещенности

Показатель (расстояние)	Расстояние (м) между зданиями (этажности)*					
	5	9	12	16	22	23
1	2	3	4	5	6	7
Между длинными сторонами зданий протяженностью 150 м	27	48	64	74	90	95
1	2	3	4	5	6	7
Между зданиями башенного типа (протяженность < 150 м)		42	52	60	70	72
Между длинными сторонами зданий и торцами зданий с окнами	15	28	32	35	38	40
Между торцами зданий без окон жилых комнат	По нормативам противопожарных расстояний					

Примечание: В случае расположения третьего здания перпендикулярно торцам двух параллельно стоящих зданий расстояние между последними, должно быть увеличено на 20%.

В зависимости от этажности зданий, расстояния между их длинными сторонами должны составлять:

- для жилых домов высотой в 2-3 этажа – не менее 15м;

- для жилых домов высотой 4 этажа – не менее 20м;

- между длинными сторонами и торцами с окнами из жилых комнат этих же зданий – не менее 10м.

Расстояния могут быть сокращены при соблюдении норм инсоляции, освещенности и противопожарных требований, а также обеспечении непросматриваемости жилых помещений (комнат и кухонь) из окна в окно.

Одним из вариантов уплотнительной застройки территории является размещение высотного здания на свободной территории у торцов жилых зданий. В качестве примера такой застройки рассмотрим территорию жилой застройки, расположенной в г.Тюмени по ул.Чернышевского (рис.1). Исследуемая территория представляет собой жилой комплекс, состоящий из двух параллельно стоящих жилых зданий, обозначенных на схеме 2Бк10 и 2Бк7, высотой в 4 и 5 этажей соответственно, и 11-этажного жилого здания (2Бк12), расположенного с северо-западной стороны перпендикулярно к торцам зданий. Здания 2Бк10 и 2Бк7 располагаются на расстоянии 16,8м между их длинными сторонами.

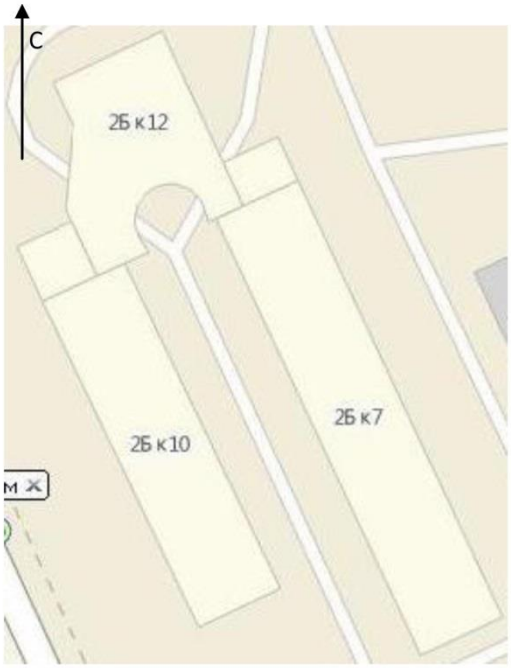


Рис. 1 – Схема исследуемой территории

Было проведено исследование инсоляционного режима данной территории в зависимости от расположения 11-этажного здания по направлениям: северное, южное, западное, восточное, северо-западное, северо-восточное, юго–западное и юго-восточное.

Расчет инсоляции территории проводился в соответствии с методикой расчета инсоляции, приведенной в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01на базе программы «Ситис: Солярис».

Проанализировав полученные данные, построена диаграмма (рис. 2). Оценив полученные данные инсоляции территории можно сделать выбор наиболее удачного расположения «точечного» здания, а также оптимального расстояния между параллельно стоящими зданиями в сложившейся застройке. Максимальное затенение территории дает расположение 11-этажного здания с южной и западной стороны. Также из диаграммы видно, что при размещении параллельных зданий на нормативном расстоянии друг от друга (не менее 20м), неблагоприятными направлениями для размещения высотного здания могут быть северное, западное и северо-восточное.

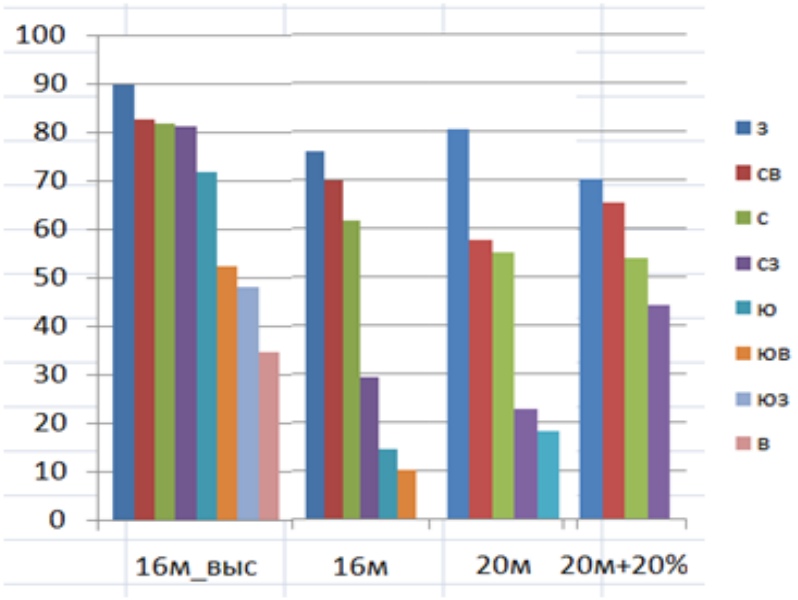


Рис. 2 – Диаграмма затенения территории

Определение оптимальных направлений размещений нового здания, а также оценка существующих разрывов между зданиями по условиям инсоляции и естественного освещения позволяет грамотно организовать инсоляционных режим территории с целью сохранения здоровой и безопасной среды для проживания населения, что особенно актуально в связи с массовой застройкой, ведущейся в городах Тюменской области.

Список литературы

1. *Германова Т.В., Пешкичева Н.С.,*К вопросу обеспечения требований инсоляции при застройке селитебных территорий, Архитектура. Строительство. Инженерные системы: монография А 87 – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2012.
2. *Исаев А.А.* Экологическая климатология: учебное пособие для географ. гидромет. экол. спец. вузов и колледжей» - М.: Научный мир, 2003.
3. *Пешкичева Н.С., Германова Т.В.,* Инсоляция, как один из факторов для установления минимального расстояния между зданиями, Наука и современность – 2012: сборник материалов XV Международной научно – практической конференции: в 4 –х частях. Часть I / под общ. Ред. С.С.Чернова. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2012.

05.23.07

А.С. Бестужева

Московский государственный строительный университет,
Институт гидротехнического и энергетического строительства,
Кафедра Гидротехнического строительства,
Москва, alex_bestu@mail.ru

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ В БЕТОННОЙ ПЛОТИНЕ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЯ

В работе проведено сравнение сейсмических сил и ускорений, полученных разными спектральными методами. Даны критерии оценки работоспособности бетонной плотины по пульсациям сейсмических напряжений.

Ключевые слова: *сейсмостойкость плотин, сейсмические нагрузки, акселерограмма, спектр реакции, коэффициент динамичности*.

Существующие на сегодняшний день спектральные методы расчетов плотин на сейсмические нагрузки можно классифицировать на два основных направления: одно связано с динамическими расчетами сооружений на расчетную акселерограмму, второе – с определением сейсмических сил как максимальных статических нагрузок, это квазидинамические методы, например, линейно-спектральная методика (ЛСМ). Разница в решении задачи сейсмостойкости по этим двум методам большая. Действительно, в первом случае при решении динамической задачи появляется огромный объем информации о пульсациях сейсмических ускорений в плотине, о пульсациях напряжений и деформаций. При решении ЛСМ мы имеем дело с максимальными величинами сейсмических сил, а значит и напряжений и деформаций, которые затем используются для оценки работоспособности плотины на основе статических критериев прочности и устойчивости.

Определение сейсмической нагрузки на основе динамического метода связано с решением численными методами уравнения вынужденных колебаний плотины в виде [2]:

$$[M]\{\ddot{U}\}_t + [C]\{\dot{U}\}_t + [K]\{U\}_t = -\{R\}_t \qquad (1)$$

Здесь $\{U\}_t, \{\dot{U}\}_t, \{\ddot{U}\}_t$ – соответственно векторы перемещений, скоростей и ускорений для системы с N степенями свободы в некоторый момент времени t; [M], [C], [K] – соответственно матрицы масс, затухания и жёсткости системы; $\{R\}_t$ – вектор внешних сил, сформированный заданными в основании сооружения сейсмическими ускорениями $\ddot{U}_o(t)$.

Решение (1) производится в ходе разложения уравнения по формам собственных колебаний на основе преобразований Релея, для которых вектор динамических перемещений может быть представлен в виде:

$$\{U\}_t = [X]\ \{Y\}_t, \qquad (2)$$

где [X] - матрица форм собственных колебаний системы;

$\{Y\}_t$ – вектор смещений линейных осцилляторов, подобранных по частотам собственных колебаний конструкции в рассматриваемый момент времени t.

В результате решения динамического уравнения (1) определяются пульсации смещений и ускорений точек плотины во время землетрясений. Как известно, сила инерции, при сейсмических колебаниях основания, определяется выражением:

$$S_j(t) = m\,(Y_j(t) + U_{oj}(t)) \qquad (3)$$

Здесь $Y_j(t)$ – ускорения единичной массы в направлении j; $U_{o\ j}(t)$ – сейсмические ускорения основания в направлении j.

Следует подчеркнуть, что сейсмическая сила в решении динамической задачи определена с учетом требуемого в постановке задачи, расчетного числа форм собственных колебаний

плотины [1]. Задача о собственных значениях и формах колебаний сооружения на этапе решения динамических уравнений считается решенной.

Определение сейсмических сил на основе квазидинамического метода, по линейно-спектральной методике, приведенной в СниП II-7-81, предполагает определение максимальной сейсмической силы по известной формуле для каждой учитываемой формы колебаний в виде:

$$S_{\max k,i,,j} = k_1\, k_2\, k_\psi\, Q_k\, A_0\, \beta_i\, \eta_{k,i,j} \qquad (4)$$

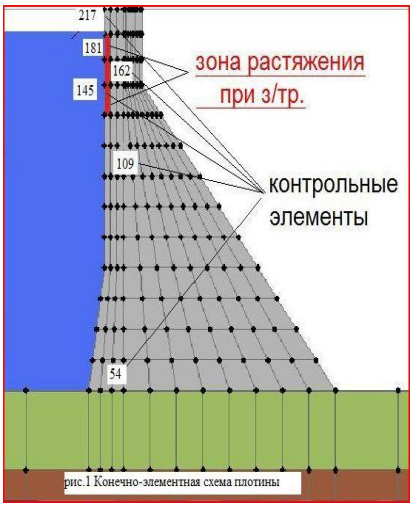


рис.1 Конечно-элементная схема плотины

Учет возможного взаимодействия отдельных резонирующих форм приводит к определению сейсмической нагрузки по ее среднеквадратичной величине:

$$S_k = \sqrt{S_{ik}^2} \qquad (5)$$

В работе приведены решения, связанные с определением сейсмических сил для бетонной плотины, расположенной на упругом основании в плоской постановке разными методами – на основе динамического расчета и по формулам ЛСМ. Профиль бетонной плотины высотой 50м представлен на рис.1. Для сравнения сейсмических сил, полученных по линейно-спектральной методике, с инерционными нагрузками, полученными в ходе решения динамической задачи, была выбрана горизонтальная акселерограмма Паркфилд с максимальным ускорением 0,5g. Решение динамической задачи согласно (1) представлено в виде графиков пульсаций ускорений и напряжений в элементах плотины, расположенных на ее напорной грани (рис.2).

Максимальные ускорения на гребне относительно подвижного основания достигают 3,2 м/с^2, что в сумме с ускорением основания 0,5g составит 8,1м/с^2. Чтобы оценить степень динамичности плотины, которая близка по физическому смыслу к значению коэффициента динамичности в ЛСМ, надо определить соотношение полного ускорения гребня плотины и ускорения в основании. Эта величина в приведенном примере равна 1,65, а коэффициент динамичности согласно СНиП при периоде основного тона плотины 0,173с равен 2,2. Как видно, значение коэффициента динамичности в ЛСМ дает завышенное значение.

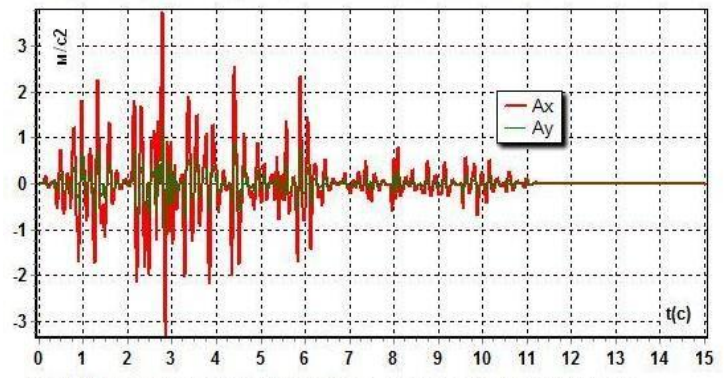


рис 2 Пульсации ускорений на гребне плотины при землетрясении

Сравнение величин максимальных сейсмических сил, определенных в ходе решения динамической задачи, с максимальными сейсмическими силами, определенными по ЛСМ согласно (4,5), приведено в табл.1.

Таблица 1

№ эл-та	Динамический метод, $S_{max}(t)$, кН	ЛСМ, S_{max}, кН,	
		$k_1 = k_2 = k_\psi = 1$	$k_1 = 0{,}25$, $k_2 = 0{,}8$; $k_\psi = 0{,}8$
109	15,0	22,6	3,616
181	13,7	66,38	10,624
217	6,8	52,08	8,33

Сравнивая результаты, приведенные в табл.1, можно сделать вывод, что значения сейсмических сил в ЛСМ с учетом понижающих коэффициентов наиболее близки к

максимальным динамическим нагрузкам в верхней части плотины, а на гребне даже их превышают. В основании плотины ЛСМ дает заниженные значения сейсмических сил.

Основным критерием работоспособности бетонной плотины на сейсмические воздействия являются величины возникающих в плотине напряжений. В поверхностных зонах плотины, где уровень статических напряжений невысок, пульсации динамических напряжений приводят к появлению растягивающих напряжений [3]. Так, на напорной грани пульсация динамических напряжений приводит к появлению растягивающих σ_y до 0,13÷0,18МПа (рис.3). Таким образом, в результате проведенных динамических расчетов получено, что на напорной грани плотины в диапазоне 10-ти метров глубины от НПУ при землетрясении возможно появление растягивающих напряжений до 0,2МПа. Глубина зоны растяжения составляет около 0,5м и продолжительность действия растягивающих напряжений около одной секунды. По мере затухания сейсмических колебаний напорная грань плотины возвращается в область сжимающих напряжений.

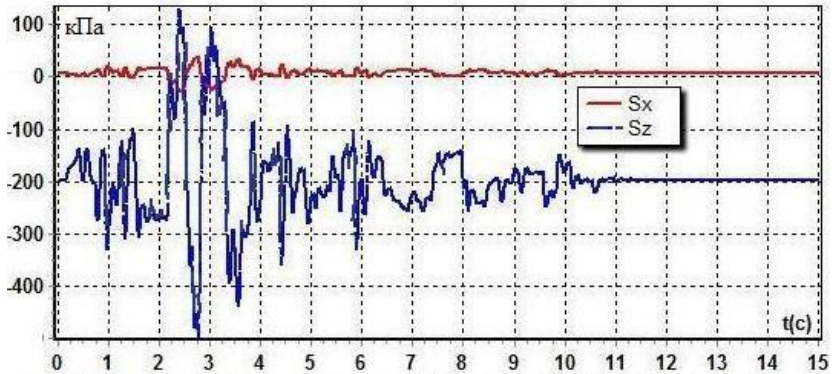


рис. 3 Пульсация полных напряжений в элементе №162 при землетрясении

Главным критерием работоспособности плотины при сейсмических воздействиях следует считать проверку на прочность по допустимым напряжениям. Предельная величина динамических напряжений при ударных нагрузках устанавливается по методам, разработанным для статических задач, но с введением коэффициента K_d – динамического коэффициента, который при ударных нагрузках в случае внезапного приложения груза равен 2. Таким образом, условие прочности может быть записано в виде:

$$\frac{1}{Kd}[\sigma_д] < [\sigma_{ст}]_{пр} \qquad (6)$$

Проведенные расчеты позволяют сделать следующие выводы:

1. Влияние податливого основания при землетрясении проявляется в существенном увеличении доли вертикальных инерционных нагрузок на плотину, которые составляют 10-15% от горизонтальных сил даже в случае отсутствия вертикальных сейсмических ускорений в основании.
2. Критерием работоспособности плотины при сейсмических воздействиях является проверка на прочность по допустимым напряжениям. В проведенных расчетах максимальные растягивающие напряжения до 0,2МПа получены со стороны напорной грани плотины, продолжительность действия этих напряжений около одной секунды.
3. Сравнение сейсмических сил методами ЛСМ и динамическим методом позволяет заключить, что квазистатические методы не отражают истинной картины напряженного состояния плотины при землетрясении, и их использование рекомендуется только на стадии предварительных расчетов.

Список литературы

1. *Бестужева А.С., Нгуен Фыонг Лам.* Динамический и спектральный методы определения сейсмической нагрузки, действующей на сооружение при землетрясении//Вестник МГСУ, №1, 2010, с.155-169

2. *Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А., Бестужева А.С. и др.,* Гидротехнические сооружения. Учебник для вузов под редакцией Л.Н.Рассказова, М., АСВ, 2008, т.2, с.57-80.

3. *Рассказов Л.Н., Бестужева А.С.* Сейсмостойкость грунтовых плотин // Гидротехническое строительство, № 2, 1992, с.28-32

05.23.03

С.В. Бирюков

Московский государственный строительный университет,
институт инженерно-экологического строительства и механизации,
кафедра Теплотехники и теплогазоснабжения,
Москва, mail-1000@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ В СФЕРЕ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНЫХ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

В статье описан один из способов контроля и повышения качества образования при подготовке студентов по специальности теплогазоснабжения.

Ключевые слова: *расчётно-графические программы, качество образования, ТГВ, теплоснабжение.*

Не первый год мы слышим о недостаточном качестве подготовки выпускников отечественных вузов. Эта проблема является одной из самых важных. В данной статье попробуем разобрать основные причины снижения качества образования и рассмотреть один из способов поддержания уровня профессиональной подготовки выпускников в сфере теплогазоснабжения.

По мнению сотрудников технических вузов к причинам ухудшения качества образования относят: низкий уровень информатизации вуза; недостаточное финансирование вуза; низкий интерес к учебе среди студентов; низкая зарплата преподавателей; отсутствие современных технологий обучения; увеличение количества студентов, совмещающих учебу с работой; снижение востребованности специалистов на рынке труда; ухудшение материально-технической базы вуза; неустойчивое финансовое состояние вуза и т.п. [1].

В образовательной сфере в области теплогазоснабжения стоит аналогичная проблема. Но, учитывая специфику ТГВ, следует рассматривать не все причины.

Для поддержания высокого уровня знаний, а также их соответствия современным технологиям и оборудованию, необходимо строить процесс обучения с постоянным контролем знаний и повторением пройденного материала. Использовать лаборатории с современным оборудованием, водить студентов на выставки и направлять на прохождение учебно-производственной практики в профильные организации.

Наилучшим образом на подготовку выпускников влияют: правильное сочетание лекционных, практических, лабораторных и специальных занятий. Но, учитывая современные реалии (перераспределение учебных часов между дисциплинами, изменения в учебных планах и программах), необходимо делать акцент на специальные дисциплины. Для контроля, повторения и лучшего усвоения материала в области конструирования и эксплуатации систем теплогазоснабжения наилучшим образом подходят занятия в компьютерном классе с использованием специализированных программ. Использование специализированных программ для расчёта тепловых, газовых сетей и расчётов оборудования котельных позволяет в короткие сроки вспомнить и усвоить студенту пройдённый материал, подготовить его к выполнению реальных задач проектировщика и эксплуатационщика после окончания вуза. Существует множество программных продуктов, выбор той или иной программы должен соответствовать возложенным задачам. Для начального обучения и решения простых задач подходят демо-версии известных программ, которые свободно можно взять с сайтов производителей-представителей этих расчётно-графических комплексов. Использование демо-версий в учебном процессе вузов никак не отражается на качестве обучения и не требует специального финансирования, что очень

удобно. Но при выполнении более сложных задач, конечно же, потребуется полноценная версия программного продукта.

В настоящее время на кафедре Теплофикации и теплогазоснабжения Московского государственного строительного университета (МГСУ) студенты осваивают универсальный расчётно-графические комплексы Zulu (компания Политерм, СПб) и ГРАСТ (Москва). Комплекс Zulu позволяет выполнять расчёты систем тепловых, газовых, паровых сетей и водоснабжения. А при подключении дополнительного модуля можно выполнять расчёты, связанные с теплогенерирующими установками (котельными) [2]. А комплекс ГРАСТ заточен под задачи теплоснабжения.

Для лучшего усвоения материала и понимания процессов студенты выполняют одинаковые задания в двух программах и оценивают полученный результат.

В данной статье рассмотрим примеры использования компьютерных программ для систем теплоснабжения. Кроме того, студенты используют программу по изучению нестационарной теплопередачи через неоднородные ограждения. Эта программа была разработана преподавателями кафедр Отопления и вентиляции, а также Теплотехники и теплогазоснабжения. Подробнее об этой программе во второй части статьи.

Разбирая на занятиях со студентами, в рамках специализированных курсов, элементарные задачи по теплоснабжению, студенты начинают чувствовать процессы, происходящие в сетях. Компьютер позволяет быстро пересчитывать системы на разные климатические параметры, изменения нагрузки и варианты подключенения потребителей. Что при ручном счёте требует значительное время.

Не надо сразу делать сложные упражнения. Нужно начинать с элементарного – один источник и один потребитель. На примере этого задания можно прочувствовать влияние изменения любого параметра на систему см. рис. 1.

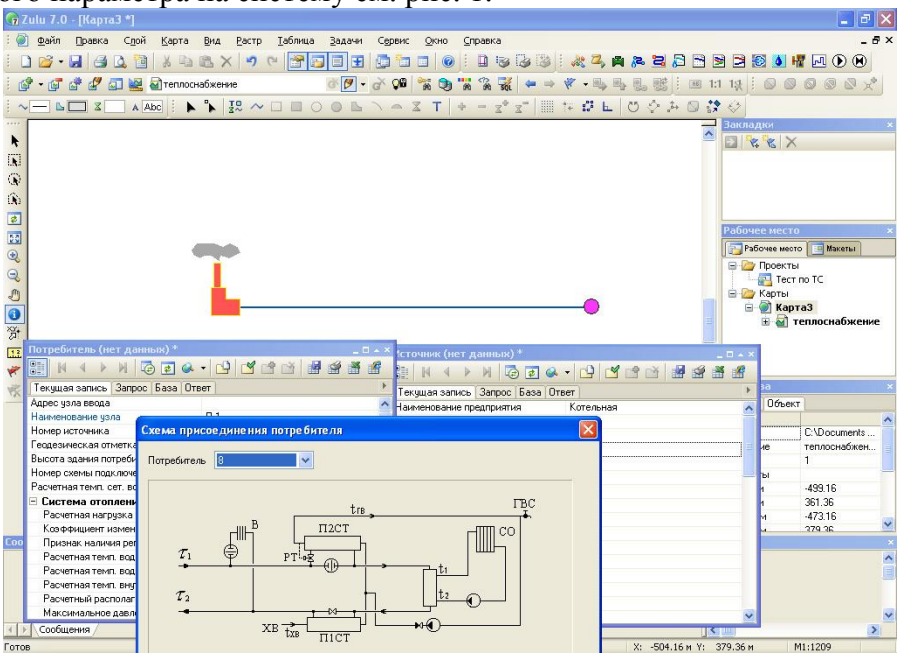


Рис. 1. Интерфейс программы Zulu 7.0 и расчёт элементарной схемы теплоснабжения (Один источник – один потребитель).

Аналогичная задача может быть решена в программе ГРАСТ см. рис. 2. Обязательно нужно давать студенту возможность выполнять задание в разных программах. Это существенно расширяет кругозор и повышает качество обучения. Возможно, мы внедрим в учебный процесс ещё другие программные комплексы. Студенты должны иметь представления о возможностях современных программных продуктов. Итоговое контрольное мероприятие можно проводить по любой из программ на выбор самого студента.

После освоения конструкторского, поверочного расчётов на элементарном примере студенты получают усложнённое задание – с тремя, четырьмя, шестью и т.д. потребителями. Причём проектные нагрузки и схемы подключения потребителей могут быть совершенно разными, что усложняет расчётную схему и выполнение задания. Студенты вынуждены искать собственные решения задачи, а не просто получать ответ по нажатой кнопке.

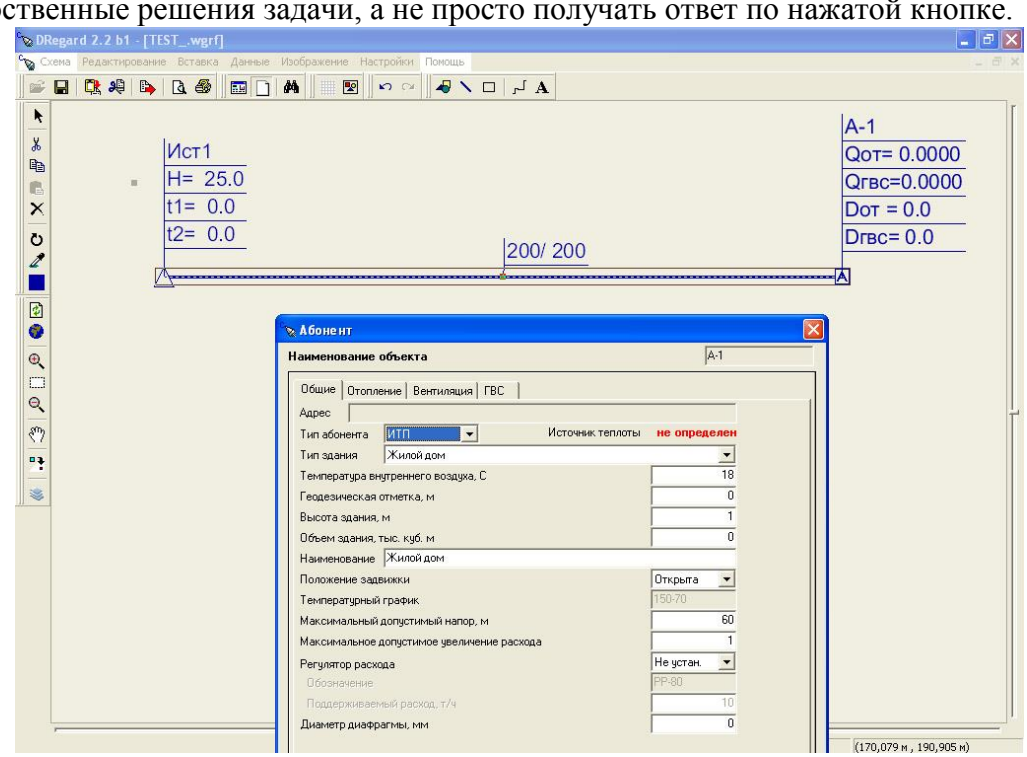


Рис. 2. Интерфейс программы ГРАСТ и расчёт элементарной схемы теплоснабжения (Один источник – один потребитель).

Выводы

После прохождения специализированных курсов с использование программ студенты существенно повышают свой уровень знаний и лучше усваивают пройденный материал.

Для большей эффективности рекомендуется изучать несколько программных продуктов, которые позволяют решать однотипные задачи.

Список литературы

1. Диагностика качества инженерного образования в вузе / Б.В. Палюх, С.В. Большаков. – Тверской государственный технический университет, 2006.
2. Справка по программе ZULU 7.0. СПб: Политерм, 2013.

05.23.05

П.В. Борков

Липецкий государственный технический университет,
инженерно-строительный факультет, кафедра сопротивления материалов,
Липецк, borkovpv@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФУРАНОВЫХ СМОЛ

В статье представлены результаты исследования деформационно-прочностных свойств композиционных материалов на основе фурановых смол в зависимости от времени эксплуатации.

Ключевые слова: *модуль упругости, долговечность, длительная прочность, прочность при растяжении, фурановый композит.*

В настоящее время вопросам, связанным с эффективной эксплуатацией конструкций из полимерных композиционных материалов, уделяется довольно пристальное внимание. Особенно интересным представляется изучение долговечности таких материалов [1]. Исследование изменения свойств полимерных композиционных материалов во времени при различных формах внешних воздействий является одной из ключевых характеристик долговечности [2,3,4,5].

Одними из наиболее важных свойств конструкционных строительных материалов, определяющих долговечность, являются деформационно-прочностные. Прочность материалов является основным параметром, характеризующим сопротивление материалов разрушению, и определяет целостность и работоспособность конструкций [6]. Прочность полимерных композиционных материалов зависит от времени действия нагрузки, температуры и других факторов, а также от структуры полимера. Наличия различных дефектов и других особенностей структуры. Например, молекулярной массы, молекулярной ориентации и т.д. В инженерной практике используются понятия кратковременной и длительной прочности. Кратковременная прочность σ_p обычно определяется на разрывных машинах при заданных режимах скорости нагружения и скорости деформации. Длительная прочность обычно определяется при нагружении статическими или переменными нагрузками, малыми по сравнению с пределом прочности σ_p. Кратковременная и длительная прочность полимерных материалов относится к технической прочности, которая обычно значительно ниже так называемой теоретической прочности материала с идеальной структурой [7].

При длительном действии нагрузок прочность и деформативность полимерных композиционных материалов претерпевают существенные изменения. Причиной подобных изменений является ползучесть материала под нагрузкой, способствующая возрастанию деформативности и снижению прочности. В связи с этим для определения долговечности полимерных композиционных материалов в изделиях обычно проводят испытания образцов при длительно действующей статической нагрузке, то есть исследуют их ползучесть при сжатии, растяжении и изгибе [8].

В исследованиях прочностных свойств полимерных композитов одним из широко известных направлений является кинетическое. В этой области активно развивается механика разрушения, основанная на кинетическом подходе к этому процессу. Она предусматривает анализ термофлуктуационного характера разрыва химических связей при их напряжении. Разрывы связей происходят в основном в областях, находящихся вблизи вершин микротрещин. Исследования за поведением полимеров при действии на них температуры показали, что представления о разрушении материала как критическом явлении, наступающем при достижении предела прочности, не отражают истинной природы явления. Было предложено новое представление о разрушении как некотором процессе, развивающемся в полимерном композиционном материале с момента приложения нагрузки.

В основе этого процесса лежит накопление повреждений, на что и расходуется время эксплуатации образца [9].

Научные исследования в области разработки составов полимерных композиционных материалов, изучение их свойств в широких интервалах влажности, температур, напряжений с постановкой экспериментов по анализу напряженно-деформированного состояния на основе фурановых смол осуществляются в Липецком государственном техническом университете на протяжении сорока пяти лет. Для экспериментов были изготовлены несколько серий образцов, которые испытывались на кратковременную и длительную нагрузку в разные периоды времени. Состав материала образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав полимерного композиционного материала

№ п/п	Компоненты	Содержание на 1 м^3	
		% по массе	кг
1	Фурфуролацетоновый мономер (ФАМ)	8…10	200…250
2	Отвердитель БСК	1,6…2	40…50
3	Андезит молотый	8…12	200…300
4	Песок кварцевый фракции 0,14…5 мм	24…30	600…750
5	Щебень гранитный фракции 3…5 мм и 5…10 мм	50…54	1250…1350

Для анализа данных экспериментов напряженно-деформированного состояния полимерного композиционного материала на основе ФАМ проведено исследование термодинамических процессов, происходящих в нем при деформировании. Экспериментальные данные фиксировались для образцов, находившихся в одинаковых условиях в течение всего времени наблюдения. Графическое представление изменения прочности при растяжении и модуля упругости фурановых композиционных материалов представлено на рис. 1 и 2.

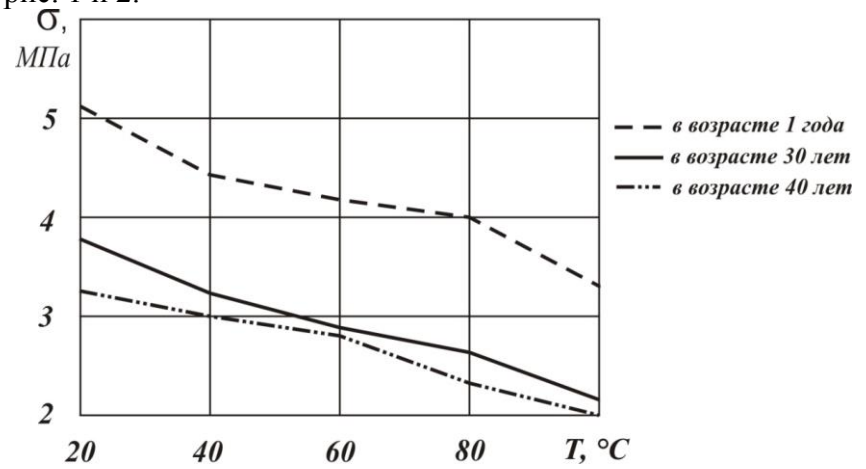


Рис. 1– Изменение прочности при растяжении фуранового композита от температуры

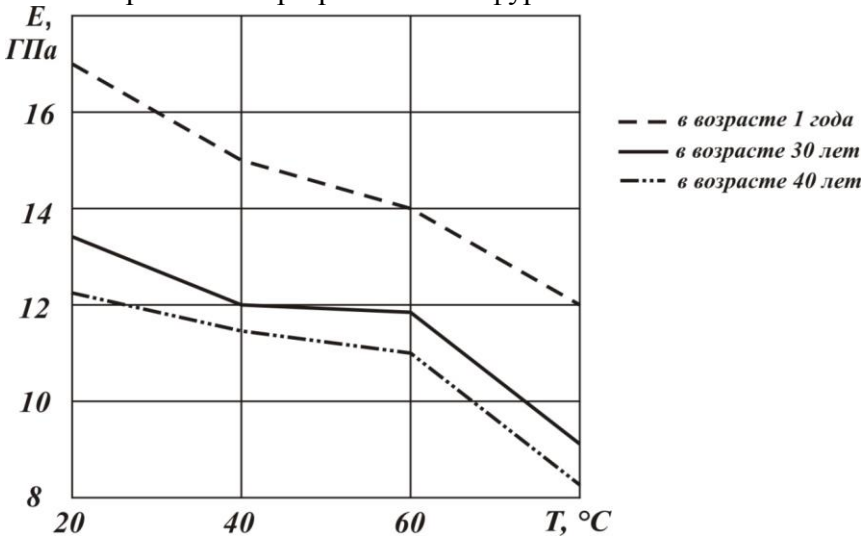


Рис. 2– Изменение модуля упругости фуранового композита от температуры

Анализируя характер изменения экспериментальных предельных кривых кратковременных прочностей композита на основе ФАМ на момент изготовления и композита в возрасте тридцати и сорока лет в том же интервале температур можно заметить, что эти графики имеют общую тенденцию к убыванию прочностей с повышением температуры. То же самое происходит и с модулями упругости этого композиционного материала. Как следует из приведенных графиков, в результате старения его прочность средне падает на 25%, а модуль упругости на 20 %.

Результаты экспериментов способствуют разработке научно обоснованного метода прогнозирования долговечности композиционного материала на основе ФАМ, позволяющего на основе термодинамических зависимостей переходить от характеристик полимерных матриц к характеристикам композиционного материала.

Список литературы

1. *Борков П.В., Корнеев А.Д., Бондарев Б.А., Мелешкин М.Ф.* Долговечность композиционных материалов на основе фурфуролацетонового мономера // Строительные материалы. 2013. № 5. С. 64-65.
2. *Бондарев Б.А., Борков П.В., Комаров П.В., Бондарев А.Б.* Экспериментальные исследования циклической долговечности полимерных композиционных материалов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: www.science-education.ru/106-7974 (дата обращения: 04.12.2013).
3. *Борков П.В., Комаров П.В., Бондарев А.Б., Бондарев Б.А.* Ускоренный метод прогнозирования циклической долговечности полимерных композиционных материалов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2013. № 3 (31). С. 46-51.
4. *Борков П.В., Корнеев А.Д., Комаров П.В., Бондарев А.Б.* Исследование циклической долговечности полимерных композиционных материалов в зависимости от параметров структурообразования // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 138-141.
5. *Корнеев А.Д., Борков П.В., Бондарев А.Б., Прозорова Л.А.* Прогнозирование циклической долговечности полимербетонов в элементах конструкций транспортных сооружений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. № 21. С. 72-77.
6. *Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Козомазов Р.В., Лахно А.В., Тучков В.В.* Прочность и долговечность полимерных композитных материалов // Липецк: РПГФ «Юлис», 2006. С.6.
7. *Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В.* Физика и механика полимеров. – М.: Высшая школа, 1983.- 391 с.
8. *Соломатов В.И.* Эффективные композиционные строительные материалы и конструкции / В.И. Соломатов, Ю.Б. Потапов. – Ашхабад: Ылым, 1991. – 267 с.
9. *Журков С.Н.* Кинетическая концепция прочности твердых тел. – Вестник АН СССР, 1957. - №11. С.78-85.

05.02.07

В.Н. Ботяшин, Ю.Д. Козинер

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, koziner@bk.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ТУГОПЛАВКИХ ТАНТАЛОВЫХ СПЛАВОВ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В работе приведены результаты комплексных исследований процесса шлифования танталовых сплавов. Так же были определены оптимальные характеристики шлифовальных кругов и охлаждающих жидкостей. Были построены математические модели процесса шлифования и на их базе были рассчитаны оптимальные режимы резания с учетом наложенных технических ограничений. Исследования проводились в условиях круглого наружного шлифования в центрах на станках повышенной точности.

Ключевые слова: *охлаждающая жидкость, шлифование, оптимизация, рекомендации.*

Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе находят всё большее применение для изготовления деталей и узлов, работающих в условиях высоких температур (1500-2000С^{o}).

Особое место среди тугоплавких металлов занимает тантал и его сплавы, обладающие специфическими физико-механическими свойствами [3].

Их отличительной особенностью является высокая температура плавления (около 3000с^{o}), высокая пластичность (δ≈50-70%) и коррозионная стойкость.

Танталовые сплавы используются для изготовления ответственных деталей и узлов ракетных двигателей, в конструкциях космических летательных аппаратов, ядерной энергетики.

Высокие требования, предъявляемые, к точности и характеристикам поверхностного слоя деталей обеспечивает шлифование, являющееся важнейшей завершающей операцией технологического процесса механической обработки.

Однако высокая пластичность танталовых сплавов создаёт значительные трудности при шлифовании для обеспечения требуемой точности и шероховатости.

В работе представлены результаты комплексных исследований процесса шлифования тантала высокой чистоты – ТВЧ и тантала с добавкой 10% вольфрама ТВ10.

Эксперименты проводились в условиях круглого наружного шлифования в центрах на станке повышенной точности 310П.

Понятие ”процесс шлифования” является комплексным, включающим: характеристики шлифовальных кругов, состав охлаждающей жидкости, режимы шлифования и другие параметры.[2]

Эффективность процесса шлифования оценивалась по следующим показателям:

1. Производительность - $Q_{\text{м}}$, $\frac{\text{мм}^3}{\text{мин}}$
2. Износ круга - $Q_{\text{кр}}$, $\frac{\text{мм}^3}{\text{мин}}$
3. Удельная производительность - $q = \frac{Q_{\text{м}}}{Q_{\text{кр}}}$ (коэффициент шлифования)
4. Стойкость круга - T, мин
5. Шероховатость поверхности - Ra, мкм
6. Эффективная мощность - $W_{\text{Эф}}$, Вт

При проведении экспериментов использовались методы однофакторного и многофакторного планирования. По результатам экспериментов и их статистической обработке, строились математические модели процесса шлифования и на их базе, проводилась оптимизация. В работе оценивались режущие свойства основных групп

абразивных материалов: электрокорунда 24А; карбида кремния зелёного 63С, твердостью: СМ1, СМ2, С1,С2, СТ1, СТ2, зернистостью: 40,25,16,10 на керамической и бакелитовой связках. Исследовались, так же, режущие свойства различных алмазных кругов.

Комплексные исследования режущих свойств перечисленных шлифовальных кругов показали значительные преимущества кругов из электрокорунда на керамической связке 24А16С26К5. На базе этих кругов проводились дальнейшие эксперименты по оптимизации процесса шлифования танталовых сплавов.

Для оценки действия смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на процесс шлифования танталовых сплавов, использовались следующие группы СОЖ:

1. СОЖ с ярко выраженными смазочными свойствами – масло “индустриальное -20”
2. СОЖ с ярко выраженными охлаждающими свойствами а) 2% содовый раствор, б) СОЖ-ВНИИ-1
3. СОЖ с переходными свойствами

а) 5% раствор эмульсола Э-1.

б) 20% раствор эмульсола Э-1.

Проведённые эксперименты показали значительное преимущество СОЖ с ярко выраженными охлаждающими свойствами (2% содовый раствор и СОЖ-ВНИИ-1), которые и рекомендованы для использования. Анализ результатов исследования показал, что одной из основных особенностей шлифования танталовых сплавов является применение низких скоростей шлифования (около 20м/с). Известно[2,4], что внедрение скоростного шлифования (увеличение скорости с 35 м/с до 100м/с и более) при обработке различных конструкционных материалов, как в нашей стране, так и за рубежом позволило увеличить производительность процесса шлифования в 2-3 раза. При этом одновременно уменьшается шероховатость поверхности, увеличивается стойкость круга и снижается расход абразива за счет снижения числа правок круга. В таблице 1 представлены результаты экспериментов по влиянию скорости круга на коэффициент шлифования q. Круг 24А16С26К5, $V_d = 15\,{}^{\text{м}}/_{\text{мин}}$,

$S_{\text{пр}} = 0.1\text{В}\ {}^{\text{мм}}/_{\text{об}}$, $t=0.01{}^{\text{мм}}/_{\text{дв.ход}}$

Таблица 1-Влияние скорости резания на коэффициент шлифования

Материал	$V\ {}^{\text{м}}/_{\text{с}}$	q
ТВ-10	10	1,7
	20	2,6
	30	1,8
	40	1,5
ТВ-4	10	1,3
	20	2,4
	30	1,6
	40	1,3

Такая особенность шлифования танталовых сплавов связанна со спецификой тепловых процессов. Анализ теплофизики шлифования показал, что скоростное шлифование эффективно для материалов, температура плавления которых, ниже теплостойкости абразивных зёрен (≈1800С$^{\text{o}}$). В этом случае зерно режет почти расплавленный материал. При шлифовании тантала, температура плавления которого 3000 $^{\text{o}}$, обработку следует вести на низких скоростях (≈20${}^{\text{м}}/_{\text{с}}$) для сохранения режущих свойств абразивных зёрен.

Для определения оптимальных режимов шлифования строилась математическая модель процесса с использованием аппарата многофакторного планирования и линейного программирования[1,5].

Постановку задачи оптимизации можно сформулировать следующим образом: имеются зависимости показателей процесса шлифования $(Q_{мм}, Q_{кр}, q, Ra, T, W_{эф})$ от элементов режима резания $(t, V_g, S_{пр})$, скорость круга при этом постоянная. Такие зависимости получены в результате экспериментов и статистической обработки и представлены в таблице 2.

Режимы резания должны, в свою очередь, удовлетворять техническим ограничениям: ограничения по мощности станка, кинематические ограничения, ограничения по стойкости инструмента, шероховатости поверхности и другим.

Имеется функция оптимизации, которая при соблюдении всех технических ограничений должна быть максимальной. В данном случае, функцией оптимизации служит производительность процесса $Q_м$.

Результаты расчётов с некоторыми конкретными ограничениями приведены в таблице 3.

Полученную математическую модель процесса шлифования танталовых сплавов можно использовать для других граничных условий.

Таблица 2- Зависимости показателей эффективности процесса шлифования от режимов резания (круг 24А16С2К5, V=20 м/с, охлаждение СОЖ ВНИИ-1)

Обрабатываемый материал	Показатели эффективности процессов шлифования	
	$Q_{м,}\frac{мм^3}{мин}$	$R_а$, мкм
ТВ-4	$526t^{0.96}S_{пр}{}^{0,95}V_d{}^{0,78}$	$2{,}16t^{0.42}S_{пр}{}^{0.36}V_d{}^{0.25}$
ТВ-10	$553t^{0.98}S_{пр}{}^{0.9}V_d{}^{0,82}$	$4.05t^{0.57}S_{пр}{}^{0.37}V_d{}^{0.17}$
Обрабатываемый материал	Показатели эффективности процессов шлифования	
	T, мин	$W_{эф}$, Вт
ТВ-4	$\frac{3.9}{t^{1.01}S_{пр}{}^{1.15}V_d{}^{1.28}}$	$1510t^{0.93}S_{пр}{}^{0.86}V_d{}^{0.76}$
ТВ-10	$\frac{4.5}{t^{0.93}S_{пр}{}^{0,99}V_d{}^{1,2}}$	$2120t^{0.78}S_{пр}{}^{0.63}V_d{}^{0.99}$

Размерности: $S_{пр}$ $^{мм}/_{об}$; V_d $^{м}/_{мин}$; t $^{мм}/_{дв.ход}$

Таблица 3- Результаты расчёта на ЭВМ оптимальных режимов шлифования танталовых сплавов (круг 24А16С26К5, $V_{кр} = 20$ $^{м}/_{сек}$, охлаждение СОЖ ВНИИ-1)

Обрабатываемый материал	Ограничения		Значение оптимальных режимов шлифования		
	$R_а$, мк	T, мин	t, мм	$S_{пр,}\frac{мм}{об}$	V_d $\frac{м}{мин}$
1	2	3	4	5	6
ТВЧ	≤1.25	≥15	0.01	2,8(0,14В)	5
ТВЧ	≤1.0	≥15	0,01	2,2(0,11В)	5
ТВЧ	≤0.6	≥15	0.005	4,2(0,21В)	5
ТВЧ	≤0.3	≥15	При наложенных ограничениях, $R_а \leq 0{,}3$мкм получена быть не может		
Обрабатываемый материал	Значение показателей эффективности процесса шлифования				
	Т, мин	$W_{эф}$, Вт	$R_а$, мкм	$Q_{м,}\frac{мм^3}{мин}$	
1	7	8	9	10	
ТВЧ	15.3	201	1.12	59.0	
ТВЧ	15.9	171	0.87	55.3	
ТВЧ	15.1	127	0.58	44.6	
ТВЧ	При наложенных ограничениях, $R_а \leq 0{,}3$мкм получена быть не может.				

Список литературы

1.*Адлер Ю.П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976.276с.
2.*Зубарев Ю.Н.* Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов. Учебное пособие для ВУЗов. Изд-во Ланв.2010.304с.
3.*Константинов В.И., Поляков Е.Г.* Ниобий и тантал. - М.: Машиностроение, 1990. 112с.
4.*Пилинский В.И.* Производительность, качество и эффективность скоростного шлифования. - М.: Машиностроение,1986.80с.
5.*Фомин Г.П.* Математические методы и модели. - М.: Финансы и статистика. 2001. 544с.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Д.С. Денисов

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, ds.denisov7@yandex.ru.

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ МАРКИРОВКИ БАНДАЖЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ 2ЭС10

В статье рассматривается одна из причин непараметрического отказа (скол и образование трещин) бандажей колесных пар в процессе эксплуатации электровозов 2ЭС10 – глубина маркировки при их изготовлении. Показано, что нет зависимости между глубиной маркировки и надежностью бандажей электровозов «Гранит».

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, бандаж, надежность, маркировка, глубина, влияние.*

В статье [1] приведены ряд причин образования дефектов (трещин и сколов) бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10 «Гранит». Так как, по мнению эксплуатационников, трещины появляются чаще всего в местах маркировки (клеймения) [2–4].

Поэтому необходимо выяснить имеется ли действительно зависимость между глубиной нанесения знаков и клейм от непараметрических (внезапных) отказов, выхода из строя бандажей колесных пар электровозов.

На 46 электровозах 2ЭС10 было установлено 624 бандажа, изготовленных ОАО «ЕВРАЗ НТМК» (Россия, г. Нижний Тагил) и 102 бандажа производства ОАО «Интерпайп Нижнеднепровский трубопрокатный завод» (Украина, г. Нижнеднепровск).

Бандажи колесных пар обоих предприятий-изготовителей (условные номера «8» и «20») имели одну и ту же марку бандажа – «2» [5–7], но были с различными плавками и порядковыми номерами, с различной глубиной маркировки, нанесенной методом горячей посадки при изготовлении на расстоянии от 22 до 32 мм от внутренней цилиндрической поверхности прижимного бурта [8].

Исследованию подвергались только те плавки, на бандажах которых были обнаружены трещины и сколы.

Проведенный в ремонтном локомотивном депо Свердловск комиссионный осмотр и ультразвуковой контроль [9] на поверхностях катания и гребней, в том числе и над местом клеймения [10, 11], всех бандажей производства ОАО «Интерпайп НТЗ» с плавками №№ 21292, 31327 и 42226 колесных пар на электровозах 2ЭС10 замечаний не выявил, дефектов не обнаружено. Все бандажи находились в исправном состоянии.

На рис. 1 приведено распределение глубины маркировки бандажей производства ОАО «Интерпайп НТЗ» 2-х плавок: 21292 (*а*) и 42226 (*б*). Аналогичные данные были получены и для плавки № 31327 бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10.

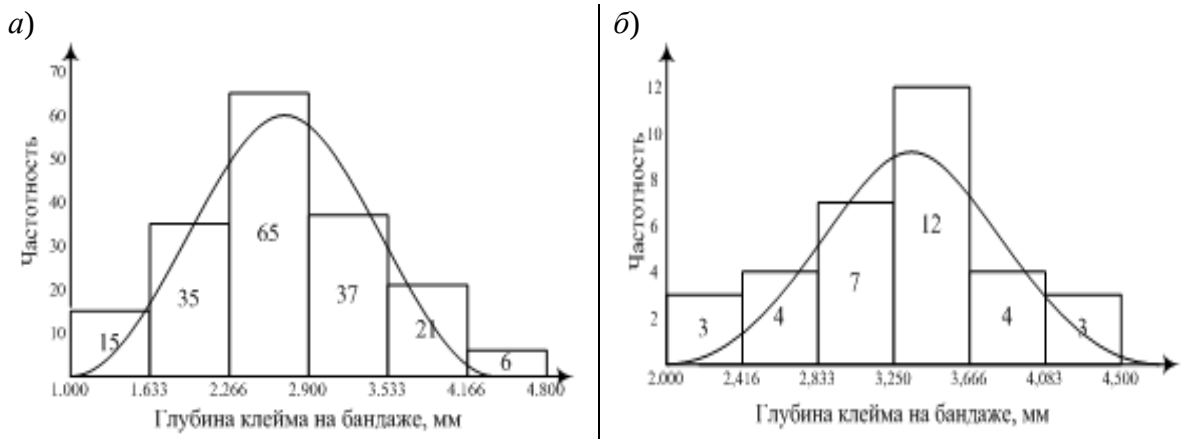


Рис. 1. Распределение глубины маркировки бандажей различных плавок: а) плавка № 21292; б) плавка № 42226

Из рис. 1, что средняя глубина маркировки в зависимости от плавки бандажей составляет 2,704 и 3,315 мм со среднеквадратическим отклонением 0,779 и 0,566 мм, соответственно.

Все 13 бандажей, на которых были выявлены сколы и трещины, с различными плавками имели различную глубину знаков и клейм – от 1,16 до 4,48 мм. Так, например, на отказавших бандажах плавки № 31327 глубина маркировки составила от 2,01 до 2,45 мм, а не отказавших – от 3,12 до 4,70 мм.

Для определения интенсивности отказов λ полученный статистический материал в каждой группе (отказавшие и не отказавшие бандажи с одинаковой глубиной маркировки) был разбит по K интервалам пробега (наработки) шириной $\Delta l = 20 \cdot 10^3$ км, где Δn – число бандажей с трещинами и сколами (отказами) на i-ом интервале ($i = 1, 2, 3, \ldots, K$) [12]:

$$\lambda = \frac{\Delta n}{m \Delta l} = \frac{\Delta n}{(N - \sum_{j-1}^{i-1} \Delta n_j) \Delta l}, \quad (1)$$

$$j < i, j = 1, 2, \ldots, K - 1,$$

где m – число бандажей, работоспособных к началу i-го интервала.

Для подтверждения этого зависимости $\lambda(l)$ были аппроксимированы методом наименьших квадратов различными видами функций. Минимальные значения остаточных дисперсий получены в случае аппроксимации зависимостей линейными функциями вида [13]

$$\lambda(l) = a\,(l + b), \quad (2)$$

где l – пробег до выхода из строя бандажей; λ – интенсивность отказов бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10.

Из построенных диаграмм интенсивности отказов (см. рис. 2) для двух групп бандажей видно, что $\lambda_А(l)$ бандажей, имеющих сколы и трещины, лежит практически в той же области пробегов, что и $\lambda_Б(l)$ с бандажами не имеющих непараметрические отказы. Таким образом, не выявлено какой-то зависимости между глубиной маркировки на наружной грани и надежностью (непараметрическим отказом) бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10 «Гранит».

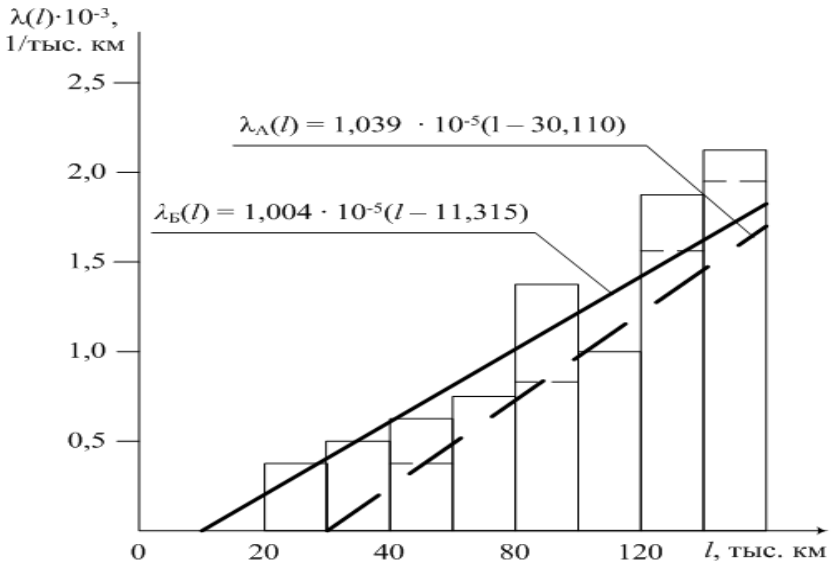


Рис. 2. Интенсивности отказов бандажей колесных пар двух групп

ООО «Уральские локомотивы» совместно с ОАО «НИИЖТ» не стали разбираться и нашли простое решение. Если изломы происходят в месте клеймения бандажа – ликвидировать клеймо на боковине бандажа. Кроме того, изготовитель электровозов 2ЭС10 добился от металлургов, что они не будут ставить «горячие» клейма. Клеймить ООО «Уральские локомотивы» будут сами ударно-точечной маркировкой («холодная» маркировка), что сразу должно, по их мнению, снизить на 50 % возможность образования трещин.

На наш взгляд причиной образования трещин является не на наличие «горячих» или «холодных» клейм на бандаже, а нарушение технологии при ремонте колесных пар [14–16], в частности, отсутствие контроля температуры бандажей при их нагреве при посадке на колесный центр, а также из-за того что бандажи марки 2 не выдерживают нагрузок [17] связанных с динамическим регулированием момента при работе границах коэффициента сцепления. При применении бандажей марки 2 происходит увеличение числа случаев боксования колесных пар (особенно колесной пары первой по ходу) на направлениях с большими грузопотоками. Это объясняется как недостаточным вниманием к работе системы пескоподачи (регулировка форсунок, наличие и правильность установки гибких наконечников песочных труб, своевременное применение подачи песка под первую колесную пару или под все, непрерывная или прерывистая подача песка), так и качеством песка, особенно если в нем повышено содержание глины или размер зерен песка отличается от установленного [18].

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Денисов Д.С.* О некоторых причинах образования дефектов бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10 «Гранит» // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 113-115.
2. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
3. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань, 2012. № 4. С. 54-58.
4. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерительная система для контроля диаметра бандажей колесных пар электровозов на основе разработанного электронного прибора // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 179-187.
5. *Буйносов А.П.* Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. 1994. № 10. С. 39-41.
6. *Буйносов А.П.* Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов // Тяжелое машиностроение. 2000. № 11. С. 16-20.
7. *Буйносов А.П.* Еще раз об износе колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 2010. № 9. С. 23-26.
8. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Сергеев Н.И.* Определение натяга пары «бандаж-обод» с помощью ультразвуковых импульсов // Транспорт Урала. 2004. № 3. С. 31-37.
9. *Буйносов А.П., Стаценко К.А.* Методика определения величины натяга бандажа на ободе колесного центра локомотива с помощью ультразвуковых импульсов // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2012. № 4. С. 100-106.
10. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. 244 с.
11. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.
12. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В.* Повышение прочности посадки деталей с натягом сформированных колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 118-120.
13. *Буйносов А.П.* Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Журнал Сибирского Федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6 № 2. С. 221-228.
14. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ надежности узлов электровозов ВЛ10 и ВЛ11 на основе диаграммы Исикавы // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 93-96.
15. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ отказов узлов электровозов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 97-100.
16. *Буйносов А.П., Дибров С.А.* Важный фактор уменьшения износа колес и рельсов // Железнодорожный транспорт. 1995. № 6. С. 39-44.
17. *Буйносов А.П., Шепелева И.О.* Влияние электрического торможения на износ бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 127-129.
18. *Буйносов А.П.* Выбор оптимального остаточного проката бандажей колесных пар магистральных электровозов // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. 2012. № 3. С. 113-116.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., А.М. Кислицын

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, alex_teem@mail.ru.

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОВОЗА

В статье приведены методы автоматизированного измерения геометрических параметров колесных пар при движении электровоза по железнодорожному пути, приведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова: *электровоз, движение, колесная пара, параметры, диаметр, измерение, методы.*

В задаче оперативного контроля элементов колесных пар электровоза можно выделить два основных направления, различающихся методами решения. Наиболее известным и эффективно применяемым на практике является первый из двух рассматриваемых методов – бесконтактный метод автоматизированного измерения диаметра колеса подвижного состава, который реализован в системе «Инспектомат» (фирма «Hegenscheidt») [1]. Сущность метода можно пояснить с помощью рис. 1. Контролируемое колесо *1* перемещается по рельсу *2*, а автоматический регистрирующий приемник (размещен у подошвы рельса) состоит из генератора сканирующего лазерного луча *4* и приемника отраженного излучения *5*. Генератор *4* периодически изменяет угол падения β луча *6* на контролируемую поверхность так, что точка падения *7* перемещается в пределах ширины колеса. Соответственно приемник *5* определяет параметры контролируемой поверхности. Позиция колеса на рельсе фиксируется отдельным датчиком *8*.

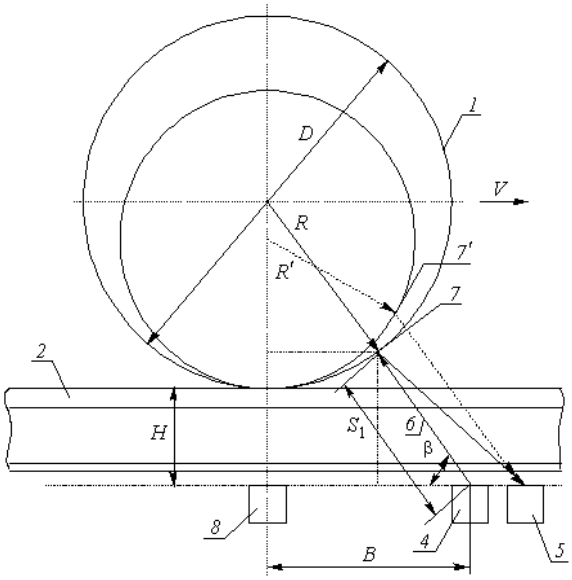


Рис. 1 – Геометрия расположения колеса на рельсе при изменении размеров измеряемого колеса по первому методу.

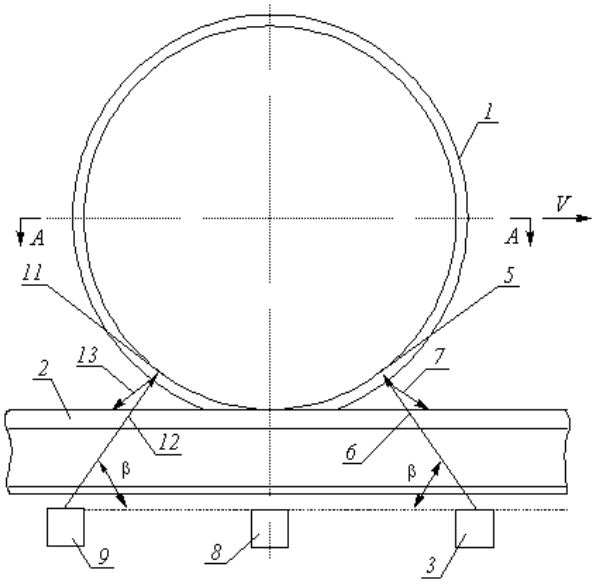


Рис. 2 – Геометрия расположения колеса на рельсе при расположении датчиков измерительной системы с обеих сторон рельса.

В первом методе измерение диаметра колеса основано на локации поверхности катания колеса оптическим лучом. В методику измерения расстояния до определенной точки

поверхности катания колеса при его движении положен принцип диффузного отражения луча от поверхности катания колеса. При этом точка излучения и точка приема оптического луча размещаются практически в одном месте [2–4].

В момент времени, когда проекция геометрического центра колеса совпадает с осью датчика *8*, осуществляется измерение расстояния S_1 до точки *7* колеса луча *6* генератора *4*. Полагают известными базовое расстояние *B* между осями датчика *8* и генератора лазерного луча *4*, высоту *H* от плоскости расположения генератора *4* и датчика *8* до опорной поверхности рельса. В результате диаметр колеса находится из формулы [4]

$$D = 2R = \frac{H^2 + B^2 - S_1^2 - 2H \cdot S_1 \left(\cos\beta + \sin\beta\right)}{S_1 \cdot \sin\beta - H},$$

где *D, R* – диаметр и радиус измеряемого колеса; *B* – базовое расстояние между осями генератора *4* и датчика *8*; *H* – высота от плоскости расположения генератора *4* и датчика *8* до опорной поверхности рельса; β – угол наклона лазерного луча.

В случае изменения диаметра измеряемого колеса до значения $2R'$ в результате износа или после его обточки во время ремонта (как показано на рис. 1 пунктиром) увеличивается расстояние S_1 поскольку угол β не изменяется. При этом радиус R' колеса уменьшается, а, следовательно, диаметр D' колеса также уменьшается, но соотношение полностью определяет значение диаметра измеряемого колеса при новом значении расстояния S_1.

Недостаток этого метода состоит в том, что принцип диффузного отражения исключает применение других типов датчиков, кроме оптических. Оптические датчики менее надежны, не способны работать в условиях тумана, дождя, инея и т.д. [5]. При использовании принципа диффузного отражения возможно пропадание отраженного сигнала в точке приема в случае идеальной зеркальной поверхности катания колеса, что на практике весьма возможно при образовании масляной пленки на поверхности катания или появления шероховатостей малого размера в результате «полирования» поверхности катания колеса в процессе эксплуатации. При этом преобладающим становится зеркальное отражение, которое приводит к невозможности совмещения точек излучения и приема [6, 7].

Рассмотрим второй бесконтактный метод измерения диаметра колеса, который используется нами в автоматизированной системе обмера колесных пар [8–11]. Его сущность состоит в следующем. Контролируемое колесо *1* (см. рис. 2) перемещается по рельсу *2* по направлению движения со скоростью *V*, а у подошвы рельса располагаются системы датчиков (излучатель-приемник) *3, 4, 8, 9* и *10*, причем датчик *8* включает в себя совмещенную пару датчиков (излучатель-приемник).

Системы датчиков вдоль рельса располагаются на известных расстояниях одна от другой. Системы датчиков *3, 4* и *9, 10* располагаются под углом β к направлению движения измеряемого колеса, где угол β является углом азимута. Указанные системы датчиков размещаются по разные стороны рельса, поэтому между осью рельса и осью соответствующего датчика образуется угол α («угол места»), который определяет попадание точек падения *5, 11* и лучей *6, 12* (см. рис. 2), на поверхность катания измеряемого колеса. Проекция точек падения *5* и *11* совпадает с осью рельса. Отраженные от точек *5, 11* и лучи *7, 13* под углом α попадают в приемные датчики *4* и *10* (с другой стороны рельса). Позиция колеса на рельсе фиксируется либо датчиком *8* (см. рис. 2), представляющим собой совмещенную пару (излучатель-приемник), либо дополнительной системой датчиков, расположенных вдоль рельса с разных сторон. Измерение диаметра колеса *1* осуществляется в момент совпадения проекции геометрического центра колеса *1* с опорной точкой на рельсе.

Датчики *9* и *10* размещаются по разные стороны рельса и ориентированы на облучение поверхности катания уходящего колеса, и также как и первые датчики – излучающий *3* и приемный *4*, располагаются по разные стороны рельса и ориентированы на облучение поверхности катания колеса навстречу направлению его движения. В этом случае опорная точка на рельсе определяется в момент равенства измеряемых расстояний в обоих дальномерных каналах, с помощью первой системы датчиков *3* и *4* (излучатель-приемник) и

второй системы датчиков *9* и *10* (излучатель-приемник).

Для определения момента равенства измеряемых расстояний в каждом дальномерном канале (первый дальномерный канал – датчики *3* и *4*, второй дальномерный канал – датчики *9* и *10*) непрерывно запоминают замеряемые расстояния. В момент равенства расстояний в каждом дальномерном канале опорная точка на рельсе совпадает с осью датчика *8* и находится посередине между осью датчиков *3* и *4*, осью датчиков *9* и *10* [12].

В основу измерения расстояния до определенной точки поверхности катания колеса при его движении в каждом дальномерном канале положен принцип зеркального отражения зондирующего сигнала излучающих датчиков [13]. Отражающая точка каждого дальномерного канала располагается по нормали к поверхности катания колеса. Поэтому при движении колеса угол азимута автоматически изменяется без изменения геометрического положения датчиков. Это возможно потому, что диаграмма направленности используемых излучающего и приемного датчиков имеет конечную величину и в пределах диаграммы направленности датчиков осуществляется уверенный прием зеркальной составляющей отраженного от определенной точки поверхности катания колеса сигнала при движении колеса. Зона уверенного приема зеркальной составляющей отраженного сигнала определяет рабочий диапазон измеряемых расстояний [14].

Общим для обоих методов измерения профиля бандажа является то, что они могут производить измерения только в конкретном сечении, определяемом конфигурацией линии установки датчиков [15].

Список литературы

1. Пат. ФРГ (ДЕ), № 343355, G 01B 21/10, 11/08. Опубл. в БИ. 1987. № 37. С. 5-8.
2. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерительная система для контроля параметров бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 73-78.
3. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 54-58.
4. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Кислицын А.М.* Автоматическая измерительная система для контроля геометрических параметров колесных пар железнодорожного подвижного состава // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 2. С. 146-156.
5. *Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С.* Бесконтактное измерение бандажей // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34-36.
6. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Измерение бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
7. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Структурная схема автоматизированной системы обмера колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 125-127.
8. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерительная система для контроля диаметра бандажей колесных пар электровозов на основе разработанного электронного прибора // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 179-187.
9. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Комплексная информационно-измерительная система технического обслуживания и ремонта колесных пар электровозов в депо // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 103-106.
10. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Автоматическая система бесконтактного измерения параметров бандажей колесных пар локомотивов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 2. С. 44-48.
11. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Бесконтактный метод измерения диаметра колеса при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 116-119.
12. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1996. № 12. С. 17-19.
13. *Буйносов А.П.* Определение допустимой разности диаметров бандажей колесной пары электровозов // Вестник РГУПС. 2010. № 4. С. 25-34.
14. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Устройство для контроля диаметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 147-150.
15. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерительная система для контроля параметров колесных пар локомотивов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 11. С. 44-51.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Д.Ю. Козаков

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, mozdokskaya18@mail

ПРИМЕНЕНИЕ ПИРАМИДЫ ГЕНРИХА ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

В статье рассматривается использование пирамиды Эрдмана Генриха для оценки безопасности движения электропоездов моторвагонных депо Свердловской дирекции по обслуживание пассажиров в пригородном сообщении. Рассчитан коэффициент комплексного показателя безопасности.

Ключевые слова: *электропоезд, электропоезд, нарушение безопасности, пирамида Генриха, коэффициент безопасности.*

Пригородные перевозки являются основным видом транспорта по числу отправленных пассажиров – 90 % от общего объема, они обеспечивают потребности населения в передвижении к местам работы и отдыха. Одним из наиболее важных факторов [1], влияющих на работу моторвагонного подвижного состава, является безопасность движения и соблюдение графика движения электропоездов [2]. В последнее время все более важным становится сравнение объемов инвестиций в предотвращение серьезных последствий [3]. Такие происшествия, как аварии и крушения, являются редкими событиями, поэтому в большинстве случаев их вероятностный анализ [4, 5] и оценка рисков весьма затруднительны [6].

На основе собранной статистической информации за 6 месяцев 2013 г. (см. таблицу) о событиях, связанных с нарушением безопасности движения [7], отказами технических средств [8] и нарушений технологического характера [9, 10], произошедших в моторвагонных депо Пермь, Нижний Тагил и Свердловск – структурных подразделениях Свердловской дирекции по обслуживанию пассажиров в пригородном сообщении, можно определить количество нарушений [11, 12] в зависимости от их вида.

Таблица

Количество нарушений в моторвагонных депо в зависимости от их вида

Вид нарушения	Моторвагонное депо			Всего по Свердловской дирекции
	Пермь	Нижний Тагил	Свердловск	
Нарушения связанные с безопасностью движения	0	2	2	4
Отказы технических средств	2	15	3	20
Технологические нарушения	103	204	113	420

Для выявления причинно-следственных связей между крупными авариями и транспортными происшествиями с менее тяжелыми последствиями [13] предлагается использование модель на основе построения пирамиды Генриха. Предлагаемая модель позволяет преодолеть данную проблему и управлять рисками тяжелых катастроф и анализировать более частые инциденты с менее тяжелыми последствиями.

Модель пирамиды Генриха, хорошо иллюстрирующая соотношения частот между происшествиями с тяжелыми последствиями, инцидентами и опасными событиями (рис. 1):

– верхний слой – несчастные случаи (аварии, крушения) – транспортные происшествия с самыми серьезными последствиями [14];

– средний слой – инциденты – транспортные происшествия с менее тяжелыми последствиями [15];

– нижний слой – несоответствия – транспортные происшествия с минимальными последствиями, которые могут пройти незамеченными [16].

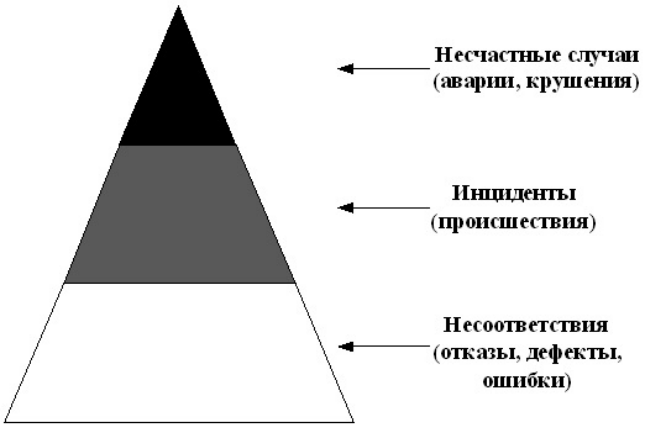


Рис. 1. Общий вид Пирамиды Генриха

Происшествия, произошедшие в разных слоях, влекут за собой последствия различного характера: в верхнем слое (черный цвет) – травмы, угрозы жизни и т.д.; в среднем (серый цвет) – ущерб собственности; в нижнем (белый цвет) – происшествия без травм и ущерба собственности.

Для уменьшения количества случаев нарушения безопасности движения электропоездов (крушения, аварии, происшествия или иные события), используем причинно-следственные связи между уровнями пирамиды Генриха. Сокращение количества случаев происходит путем «подтачивания» основания построенной пирамиды изображенной на рис. 1.

Процесс «подтачивания» приведен на рис. 2 и разделен на следующие этапы: а) выявление несоответствий; б) выявление причин несоответствий; в) устранение несоответствий в выявленных причинах; г) анализ улучшения состояния безопасности движения (уменьшение площади пирамиды).

Соотношения в пирамиде Генриха позволяет также оценить характеристики уровня, соответствующего нарушениям, связанными с крупными авариями или крушениями (верхний уровень). Основным показателем, предлагаемым в качестве основного, будем использовать интенсивность аварий (крушений), других нарушений в единицу времени. Оценка интенсивности будет происходить путем линейной комбинации трех оценок пирамиды.

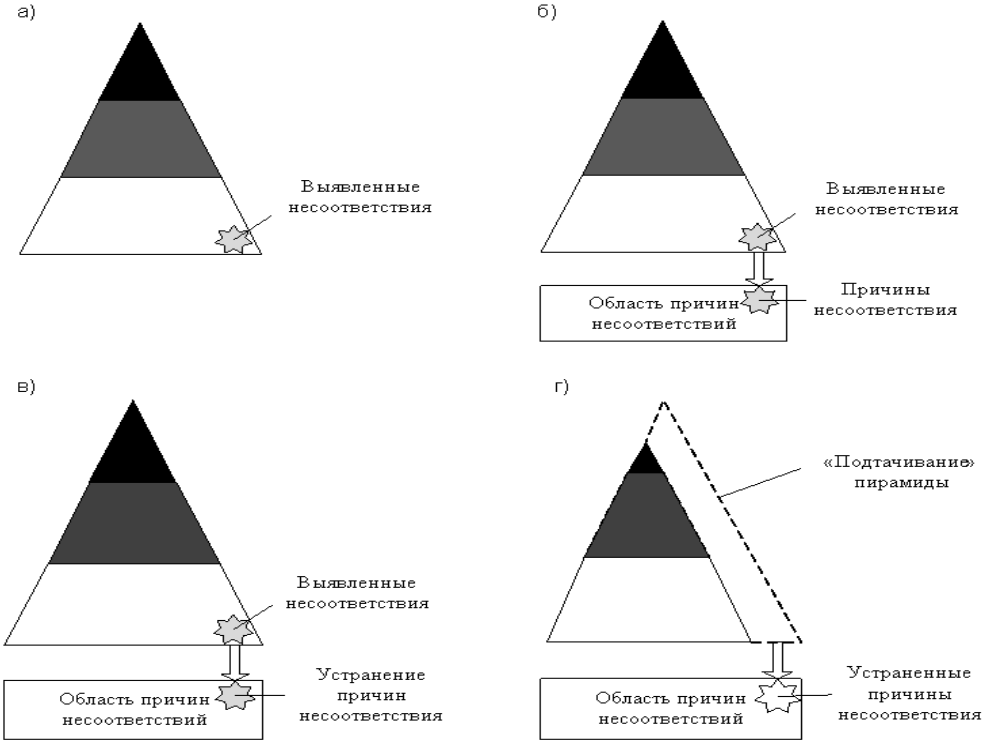


Рис. 2. Этапы «подтачивания» пирамиды Генриха

Результатом будет являться коэффициент комплексного показателя безопасности (КПБ):

$$К_{КПБ}=\frac{1}{3}\cdot\lambda_a+\frac{1}{3}\cdot\frac{\lambda_И}{К_И}+\frac{1}{3}\cdot\frac{\lambda_Н}{К_Н},$$

где λ_a – интенсивность увеличения нарушений связанных с безопасностью движения; $\lambda_И$ – интенсивность нарастания отказов технических средств; $\lambda_Н$ – интенсивность роста технологических нарушений; $К_И$ и $К_Н$ – коэффициенты отношений числа инцидентов и несоответствий к числу несчастных случаев, соответственно (согласно статистических данных приведенных в таблице и рис. 1).

$$К_{КПБ}=\frac{1}{3}\cdot 4+\frac{1}{3}\cdot\frac{20}{20/4}+\frac{1}{3}\cdot\frac{420}{420/4}=14734.$$

По полученному значению коэффициента комплексного показателя безопасности ($К_{КПБ}$) путем сравнения с предыдущими периодом (например, за 6 месяцев 2012 г.), можно оценить общее состояние безопасности движения электропоездов в моторвагонных депо – структурных подразделений Свердловской дирекции по обслуживанию пассажиров в пригородном сообщении.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
2. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ отказов узлов электропоездов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 120-123.
3. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов и электропоездов за счет применения наноматериала // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 2. С. 186-188.
4. *Буйносов А.П., Воробьев А.А.* Анализ влияния разности диаметров колесных пар по кругу катания на экономическую реализацию их ресурса // Транспорт Урала. 2010. № 2. С. 48-52.
5. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Повышение износостойкости колесных пар электроподвижного состава за счет обработки гребней триботехническим составом // Транспорт Урала. 2011. № 3. С. 59-64.
6. *Буйносов А.П., Шепелева И.О.* Влияние электрического торможения на износ бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 127-129.
7. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ отказов узлов электровозов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 97-100.
8. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Разработка схемы стабилизации зарядки аккумуляторных батарей на электропоездах ЭР2Т, ЭД2Т и ЭТ2Т // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 172-178.
9. *Буйносов А.П., Тихонов В.А., Пышный И.М.* Измерение диаметра бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Тяжелое машиностроение. 2012. № 10. С. 22-24.
10. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ причин преждевременного выхода из строя аккумуляторных батарей на электропоездах // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 128-130.
11. *Буйносов А.П., Денисов Д.С.* О некоторых причинах образования дефектов бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10 «Гранит» // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 113-115.
12. *Горский А.В., Буйносов А.П.* Анализ износа бандажей // Железнодорожный транспорт. 1991. № 1. С. 46-47.
13. *Горский А.В., Буйносов А.П.* Повышение ресурса бандажей // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжелом машиностроении. 1989. Т. 9. № 19. С. 21-29.
14. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Продление ресурса бандажей колесных пар // Технология машиностроения. 2012. № 6. С. 44-46.
15. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266-274.
16. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Новый гребнесмазыватель твердого типа // Железнодорожный транспорт. 2011. № 10. С. 54-55.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., И.О. Шепелева

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, shepeleva-ira_91@mail.ru

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ ЗА СЧЕТ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ГРЕБНЕЙ БАНДАЖЕЙ

В статье приведены результаты сравнительного анализа изнашивания гребней колесных пар электровозов ВЛ10, прошедших плазменную закалку гребней бандажей и без упрочнения. Сделан вывод об эффективности применения плазменного упрочнения – интенсивность износа гребней бандажей уменьшилась на 25 %, ресурс до обточки колесных пар электровозов увеличился на 34 %.

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, бандаж, упрочнение, ресурс.*

Вопросы ресурсосбережения в связи с ростом цен на энергоносители, материальные ресурсы, трудозатраты на замену бандажей и обточку колесных пар приобретают особую остроту [1], и для их решения необходимы исследования по повышению ресурса бандажей колесных пар локомотивов с целью снижения эксплуатационных расходов [2], обеспечения надежности и требований безопасности в эксплуатации [3].

В настоящее время твердость рельсов составляет 350–400 НВ (по Бринеллю), а твердость бандажей колесных пар электровозов – 248–277 НВ. При исследовании К.И. Домбровским износа бандажей колесных пар локомотивов в эксплуатации было замечено, что минимальный износ бандажей и рельсов наблюдается при соотношении твердости бандажа и рельсов в пределах 1–1,05 [4].

В качестве одного из методов, позволяющего привести к благоприятному соотношению твердостей контактирующих поверхностей колеса и рельса, снизить износ гребней бандажей колесных пар, можно использовать их закалку различными способами [5]. Получивший, широкое распространение метод плазменного и лазерного упрочнения колес, по мнению отдельных ученых, вызывает сомнения, а рекомендации о применении этого метода не являются достаточно обоснованными [6]. По мнению д.т.н. С.Н. Киселева, анализ статистических данных по разрушению бандажей, подтверждает предположения о преимущественном влиянии плазменного упрочнения на стимулирование этих разрушений [7]. По его мнению, до настоящего времени отсутствуют достаточно представительные данные, свидетельствующие об уровне эффективности плазменного упрочнения с позиции повышения износостойкости бандажей локомотивов.

Мы считаем что такие опасения необоснованны, так как при работе твердого бандажа или колеса по твердому рельсу взаимное истирание уменьшается, а пара «мягкое колесо – твердый рельс» работает хуже [8, 9]. Для подтверждения этого в ремонтном локомотивном депо Таганай в течение 7 месяцев 2013 г. велись наблюдения за электровозами ВЛ10 и $ВЛ10^{У(К)}$ (приписки к эксплуатационному локомотивному депо Златоуст), гребни которых были обработаны низкотемпературной плазмой на установке УУКП-17 после обточки колесных пар на станке КЖ-20 и бандажей не прошедших газоплазменное упрочнение. Следует отметить, что наблюдению подвергались только бандажи колесных пар с постоянно восстанавливаемым упрочненным слоем [10].

На основании замера контролируемых параметров, после математической обработки выборочных совокупностей [11], построены зависимости от пробега величины износа гребней бандажей колесных пар прошедших и не прошедших плазменное упрочнение.

Для аппроксимации эмпирических зависимостей аналитическими функциями надо выбрать свой вид зависимости. В общем плане аналитическую зависимость можно представить в виде некоторой нелинейной функции $y = f(a_1, a_2, \ldots, a_S, l_i)$ одного аргумента l_i, в выражение которой входит S параметров $a_1, a_2, \ldots, a_S, l_i$. С помощью этой функции необходимо аппроксимировать эмпирическую регрессию, которая задана в виде N точек (l_i, y_i) при $i = 1, 2,\ldots, N$, где под y следует понимать один из параметров рассматриваемого закона распределения. Параметры функции y находятся методом наименьших квадратов [12], условие которого записывается в виде:

$$Z(a_1, a_2, \ldots, a_S) = \sum_{i=1}^{n}\left[f(a_1, a_2, \ldots, a_S, l_i) - l_i)\right]^2 \Rightarrow \min, \qquad (1)$$

или

$$\sum_{i=1}^{n}\left[Y_i - f(L_i)\right]^2 \Rightarrow \min, \qquad (2)$$

где $f(L_i)$ – выбранная аппроксимирующая функция; Y_i и L_i – полученная совокупность экспериментальных данных.

На рисунке приведены средние значения износа гребней бандажей от пробега и их эмпирические зависимости ($M_y = a \cdot L + b$) для колесных пар электровозов с применением упрочнения *2* и без него *1*. Наилучшими параметрами a и b считаются те, для которых следующая сумма будет минимальной [13]

$$S(a,b) = \sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{n}\left[f(L, a, b) - M_{yi}\right]^2, \qquad (3)$$

где ε_i – уклонения при всевозможных значениях L_i.

Результаты расчета коэффициентов уравнений регрессий и ресурса до обточки бандажей колесных пар электровозов ВЛ10 и ВЛ10$^{У(К)}$ сведены в таблицу.

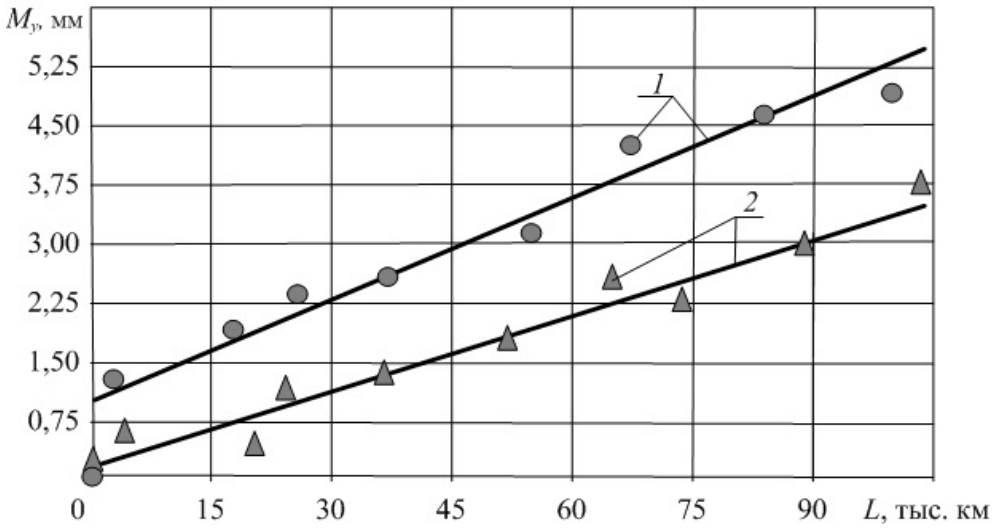


Рисунок. Зависимости среднего значения износа гребней бандажей электровозов ВЛ10 от пробега: *1* – без упрочнения; *2* – с упрочнением.

Таблица. Коэффициенты уравнений регрессии износа гребней бандажей колесных пар электровозов ВЛ10$^{В/И}$

Зависимость	Объем выборки, N	Коэффициенты уравнения регрессии $y = a \cdot L + b$		Коэффициент корреляции, r_{yL}	Остаточная дисперсия, S_0^2, мм^2	Ресурс бандажей колесных пар до обточки, тыс. км
		a, мм/10^4 км	b, мм			
Без упрочнения						
$M_y(L)$	238	0,429	0,912	0,945	0,381	116
$\sigma_y(L)$		0,029	0,003	0,713	0,753	
С упрочнением						
$M_y(L)$	287	0,322	0,111	0,879	0,414	155
$\sigma_y(L)$		0,026	0,347	0,924	0,022	

Эти зависимости, с достаточной степенью точности (коэффициент корреляции 0,713–0,945), описываются при помощи линейных уравнений. Методы сравнения полученных уравнений регрессий позволили установить, что эти отличия существенны и не носят случайного характера [14].

Из рисунка и таблицы видно, что после применения плазменного упрочнения гребней бандажей колесных пар интенсивность износа гребней уменьшилась на 25 % – с 4,29 до 3,22 мм/тыс. км пробега. Необходимо отметить, что без упрочнения при обточке бандажей гребень полностью не восстанавливают (коэффициент b = 0,912 мм), тогда как перед проведением плазменного упрочнения обточку выполняют практически с полным восстановлением конфигурации гребня (b = 0,111 мм).

Таким образом, снижая интенсивность износа гребня при помощи плазменного упрочнения, можно увеличить ресурс бандажей колесных пар. В данном случае ресурс бандажа до обточки колесных пар электровозов ВЛ10$^{В/И}$ возрастает на 34 % (с 116 до 115 тыс. км).

Однако, при помощи этого метода можно достичь бóльших результатов ввиду того, что толщина упрочненного слоя составляет от 2,5 до 3 мм, что не обеспечивает защиту гребня на длительный период. Для достижения максимального эффекта упрочнение следует вести через равные промежутки пробега или по результатам периодических замеров в пунктах технического обслуживания и в цехе текущего ремонта ТР-1. Упрочненный слой надо восстанавливать также после каждого технического обслуживания ТО-4 ввиду разупрочнения материала гребня [15] перед обточкой и удалением слоя металла.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
2. *Буйносов А.П., Шепелева И.О.* Влияние электрического торможения на износ бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 127-129.
3. *Буйносов А.П.* Еще раз об износе колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 2010. № 9. С. 23-26.
4. *Буйносов А.П.* Влияние твердости колеса и рельса на их износ // Локомотив. 1995. № 3. С. 31-32.
5. *Балдин В.Л., Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Повышение долговечности колесных пар за счет упрочнения гребней бандажей локомотивов // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 5. С. 57-60.
6. *Киселев С.Н.* К вопросу о плазменном упрочнении гребней колес // Локомотив. 1999. № 4. С. 32-34.
7. *Киселев С.Н., Саврухин А.В., Киселев И.А.* Модернизация процесса термического упрочнения железнодорожных колес // Ремонт, восстановление, модернизация. 2008. № 9. С. 2-7.
8. *Буйносов А.П.* Взаимодействие колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 1999. № 5. С. 22-25.
9. *Буйносов А.П.* Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. 1994. № 10. С. 39-41.
10. *Буйносов А.П.* Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов // Тяжелое машиностроение. 2000. № 11. С. 16-20.
11. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Математическое моделирование процесса изнашивания бандажей колесных пар электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 107-110.
12. *Буйносов А.П.* Методика определения ресурса бандажей колесных пар электровозов // Транспорт: наука, техника, управление. 2013. № 2. С. 37-39.
13. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Оптимизация остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 69-74.
14. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Определение предельно допустимой разности диаметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава методом кусочно-линейной аппроксимации // Омский научный вестник. 2011. № 3. С.148-151.
15. *Буйносов А.П.* Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов // Тяжелое машиностроение. 2000. № 11. С. 16-20.

05.21.01

А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, Б.С. Юшков, В.А. Бурмистров

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
Ухтинский государственный технический университет, Ухта, oburmistrova@ugtu.net

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕ- И ГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ ДОРОГ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ГРУНТОВ

В работе представлена технология закрепления грунта оснований на действующих нефте- газотрубопроводах и нефтегазопромысловых дорогах, позволяющая значительно снизить экологические риски.

Ключевые слова: *электрохимическое закрепление грунтов, слабые грунты, уплотнение грунта, нефте- и газопромысловые дороги.*

Современная экономика России, к сожалению, напрямую зависит от добычи нефти и газа. С каждым годом разрабатываются все новые и новые месторождения, требующие прокладку нефтегазопромысловых дорог. Проблема обеспечения экологической безопасности при возведении новых объектов инфраструктуры становится первоочередной задачей нашего общества. Это означает, что в результате строительства не должно ухудшиться состояние земель, флоры и фауны.

В настоящее время нефте- и газодобывающие предприятия эксплуатируют тысячи километров трубопроводов различного назначения: нефтепроводов; водоводов; газопроводов и метанолопроводов.

Транспортировка нефти и нефтепродуктов по трубопроводам сопровождается возникновением аварийных ситуаций, связанных с разрывом трубопроводов и разливом нефти и нефтепродуктов, происходящих в результате коррозии труб, нарушения технических условий при строительстве и эксплуатации, разрушения фундаментов и т.д. При этом аварийные ситуации на нефтепроводах ведут к тяжелым экологическим последствиям - длительным загрязнениям почвы и водоемов, поэтому возникает необходимость проведение своевременных ремонтно-восстановительных работ по ликвидации последствий.

Одним из основных факторов риска возникновения аварийных ситуаций на нефтепроводах, газопроводах и нефтегазопромысловых дорогах в климатических условиях Западного Урала, Крайнего Севера - районах добычи и транспортировки нефти и газа – является деформация и разрушение оснований дорог и фундаментов сооружений в результате криогенного (морозного) пучения глинистых грунтов.

Криогенное пучение снижает прочность грунта у основания дорог, при этом происходят неравномерные осадки особенно на пересечениях с нефте- газомагистралями и как следствие, нарушение целостности конструкций .

Наибольшие деформации пучения наблюдаются при льдонакоплении в тонкодисперсных породах, промерзающих в «открытых» системах (т.е. при возможности подтока воды к границе промерзания), где под влиянием градиентов температуры и влаги возникают большие миграционные потоки плёночной воды.

Для повышения несущей способности грунтовых оснований, снижения эффекта морозного пучения применяют следующие способы искусственного закрепления грунтов [2]: цементацию и битумизацию; химический метод (введение в грунт силиката натрия); термический; механический.

Разработанные технологии строительства дорог на слабых основаниях характеризуются большой материалоемкостью минерального сырья, как в процессе строительства, так и эксплуатации [1]. К таким методам относится полная или частичная замена слабых грунтов

(в основном торфов) на пески, щебень или крупнообломочный материал с использованием лесных ресурсов в качестве армирующего элемента основания (лежневки).

В неблагоприятных геологических и гидрогеологических условиях для устранения морозного пучения грунтов и повышения их несущей способности, грунты закрепляют.

Все эти методы энерго- и трудозатратны и подразумевают дополнительную обработку грунта различными химическими препаратами или термическую обработку.

Для осушки и повышения механических свойств глинистых грунтов в странах Западной Европы, а также США с конца 30-х годов прошлого столетия на отдельных объектах гидротехнического, промышленного, гражданского и железнодорожного строительства применялся электрохимический метод закрепления грунтов [3].

Достоинством электрохимической обработки грунтов является малая трудоемкость, высокая степень механизации и электрификации работ, проведение работ во время эксплуатации сооружений.

На территории Северо-Западного региона преобладают четвертичные водонасыщенные глинистые грунты, которые склонны к морозному пучению.

Суть метода электрохимической обработки грунтов заключается в использовании эффекта электроосмоса и сопричастных с ним процессов.

Глинистые грунты представляют собой алюмосиликатные коллоидно-дисперсные системы и имеют рыхлую слоистую кристаллическую структуру. Решетка глинистых минералов состоит из слоев кремнекислородных тетраэдров и алюмокислородных октаэдров, связанных между собой вандерваальсовыми силами межмолекулярного притяжения и образующих элементарные пакеты [4, 5].

Атомы кремния и алюминия могут быть замещены другими атомами, например, атомами железа, а также атомами с меньшей валентностью, магнием или кальцием. Для компенсации заряда частицы глины могут адсорбировать из водных растворов свободные катионы, которые могут замещаться другими катионами. Каждый вид глины обладает определенным количеством обменных ионов (обменной емкостью) В целом брутто-формулу глинистых грунтов можно представить в виде:

$$H_2Al_2Si_{2+n}O_{8+2n} \cdot qH_2O, \quad (1)$$

где q равно 1,8…2,2, а n обычно равно 0,2,4.

По минералогическому составу глины делятся на несколько групп, отличающихся друг от друга химическим составом и структурой кристаллической решетки. Наиболее распространенными являются каолин **(**$H_8Al_4Si_4O_{18}\cdot qH_2O$**)**, монтмориллонит **(**$H_4Al_4Si_8O_{24}\cdot qH_2O$**)**, гидрослюды и палыгорскит **(**$H_2Si_8Mg_5O_{20}\cdot qH_2O$**).**

Обменная емкость каолина составляет 3…15 мг-экв/100 г, монтмориллонита- 60…100, палыгорскита – 20…30.

Свойства глин, способность к набуханию и диспергированию при взаимодействии с водой зависит от их кристаллической структуры и соотношения Si_2O_2:Al_2O_3**.** Чем больше это отношение, тем ярче выражены гидрофильные свойства глинистых пород. Для каолина это отношение равно 2, для монтмориллонита – 4 и более, для палыгорскита – 2,1…2,6. Наибольшей влагоемкостью, склонностью к набуханию обладают монтмориллониты в Na – форме (60…70 % обменных ионов представлены ионами натрия).

Если рассматривать глинистые грунты с точки зрения их коллоидно-дисперсной структуры, то следует отметить, что глинистые частицы представляют собой мицеллы, ядро которых заряжено отрицательно, противоионами являются ионы водорода, щелочных или щелочноземельных металлов, которые располагаются в адсорбционном и диффузном слоях мицеллы (рис. 1.).

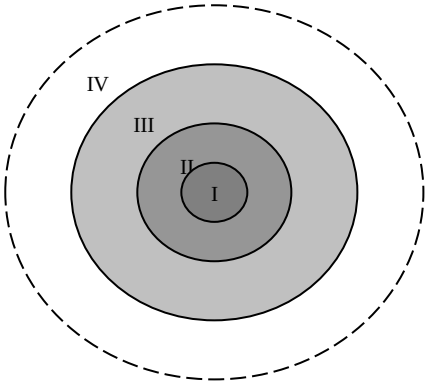


Рис. 1. Строение мицеллы: *I* – ядро мицеллы; *II* – адсорбционный слой (*I и II – гранула*); *III* – диффузионный слой; *IV* – гидратная оболочка

При пропускании постоянного электрического тока через слой глинистого грунта, насыщенного водой, происходит перемещение дисперсионной среды - воды, при этом разрывается диффузный слой мицеллы, и ионы диффузного слоя начинают перемещаться вместе с водой, заряжая ее положительно. Чем выше электрокинетический потенциал коллоидной частицы, тем выше скорость перемещения дисперсной среды [4]. При действии постоянного электрического тока на грунт вода перемещается в катодное пространство, откуда может быть откачена насосом, при этом происходит осушение и уплотнение грунта, что снижает способность к морозному пучению.

Как уже отмечалось, высокая влагоемкость грунтов более характерна для глин в Na – форме. Известно, что замещение ионов натрия на кальций или трехвалентный ион металла, например, железа, способствует снижению эффекта набухания, увеличивается диаметр глинистых частиц за счет процессов коагуляции дисперсной системы, что будет способствовать ее упрочнению и снижению набухаемости.

Если в трубу, выполняющую роль анода, залить раствор соли щелочноземельного металла, например, хлорида кальция, то ионы кальция будут перемещаться к катоду через слой грунта, при этом будет происходить упрочнение грунта в результате коагуляции глинистых частиц под действием многозарядного иона, частичная замена ионов Na^+ на Ca^{2+}.

В качестве анода при электрообработке целесообразно использовать стальную трубу, под действием тока будут протекать процессы электролиза с растворимым анодом, при этом стальная труба будет постепенно разрушаться с образованием ионов железа (II), которые способны окисляться до ионов железа (III), обладающих высокими коагулирующими свойствами.

Таким образом, наряду с электроосмосом при действии постоянного электрического тока на грунт будут протекать процессы электролиза воды, растворения анода, ионного обмена, электрокоагуляции и др.

В прианодном пространстве возможно протекание следующих процессов:

1. $Fe - 2\ e = Fe^{2+}$
2. $2H_2O - 4\ e = O_2 + 4H^+$
3. $Fe^{2+} + 4H^+ + O_2 = Fe^{3+} + 2\ H_2O$
4. $4Cl^- - 4e \rightarrow 2Cl_2\uparrow$

Введение в грунт хлоридов кальция усиливает процессы растворения анода, гидролиз и окисление ионов железа (II) приводит к снижению pH грунта. Протекающие процессы способствуют упрочнению грунта в прианодном пространстве.

На катоде протекают процессы восстановления воды с образованием водорода: $2H_2O + 4\ e = H_2 + 2OH^-$

Катионы кальция, содержащиеся в грунтовом растворе и электролите, передвигаются в сторону катода и образуют гидроксиды, также способствующие закреплению грунта.

Проведенные лабораторные исследования позволили определить оптимальные условия процесса обработки. Исследования проводили на лабораторной установке, представляющей собой емкости размером 50х50х50, в которые помещали водонасыщенный грунт и вставляли в него электроды.

В качестве электродов использовали перфорированные трубы диаметром 70 мм с перфорацией 5 мм. В электроды, соединенные с положительным полюсом источника постоянного тока (аноды), заливали раствор хлорида кальция. Концентрацию раствора варьировали в пределах (2,5… 5,0 %). Во время электрообработки поддерживался постоянный градиент падения напряжения в пределах 1,0 В/см. Продолжительность обработки грунта составляла 25 суток,

В течение эксперимента определяли влажность грунта и степень пучения обработанного грунта.

Установлено, что плотность тока в течение электрообработки меняется и зависит от электрического сопротивления грунтовой среды. В начальный период, при достаточно большой влажности, она составляла 3,0 А/м^2. К концу электрообработки, плотность тока уменьшается до 0,5 А/м^2. При продолжительности обработки грунта 25 суток, количество электричества, подаваемого через грунт, составляло 80 кВт ч/м^3.

Наибольшее уплотнение грунта достигалось в анодной зоне, и для равномерного упрочнения электроды целесообразно располагать в шахматном порядке. В процессе электрохимической обработки грунта происходило его уплотнение, объем уменьшался на 15…20%. Наибольший эффект уплотнения был достигнут при введении в анодное пространство 2,5% раствора хлорида кальция.

На основании проведенных исследований разработана технология закрепления грунта оснований на действующих нефте- газотрубопроводах и нефтегазопромысловых дорогах, позволяющая значительно снизить экологические риски. Полученные результаты показали, что технология закрепления слабых грунтов земляного полотна дороги позволяют обеспечить высокий темп строительства, качество и надежность эксплуатации конструкции, сокращение объема использования строительных материалов, снижение материалоемкости и энергопотребления, что направлено на обеспечения экологической безопасности нефтегазопромысловых дорог.

Список литературы

1.СНиП 2.05.07-91. Промышленный транспорт.

2.ВСН 26-90. Инструкция по проектированию и строительству автомобильных дорог нефтяных и газовых промыслов Западной Сибири.

3.*Жинкин, Г. Н*. Электрохимическая обработка глинистых грунтов в основаниях сооружений [Текст] : учебное пособие / Г.Н. Жинкин, В.Ф. Калганов. М. : Стройиздат, 1980 – 164 с.

05.21.01

А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, Б.С. Юшков, В.А. Бурмистров

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
Ухтинский государственный технический университет, Ухта, oburmistrova@ugtu.net

К ВОПРОСУ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКОВ СЛУЖБЫ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

В работе рассмотрен вопрос увеличения сроков службы дорог конструкций лесных дорог.

Ключевые слова: *сезонное промерзание, морозоустойчивость дорожной одежды, морозобойные трещины, лесные дороги.*

Сезонное промерзание и оттаивание характерны для многих районов Земли. Значительная часть территории России и СНГ с сезонным промерзанием грунтов составляют участки, имеющие неблагоприятные грунтово-гидрологические условия и характеризующиеся наличием морозобойных трещин на поверхности автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием.

Большинство грунтов и пород в слоях дорожной конструкции, замерзая и оттаивая, претерпевают существенные деформации – пучины, морозобойные трещины, просадки и т.п. На существующей сети автомобильных дорог они составляют около 47%, в отдельных случаях более 70% при необеспеченном стоке и более 50 % при близких грунтовых водах.

Ввиду круглогодичного производства строительных работ, основания будущих дорог часто подвергаются промораживанию в период возведения нулевого цикла. В связи с этим существует опасность подъема верха земляного полотна при минимуме отсыпки слоев дорожной одежды любой проектной конструкции. Поэтому, лесные автомобильные дороги на слабых основаниях строят с выполнением большого объема земляных работ, необходимого для улучшения водно-теплового режима земляного полотна. При этом требуемая прочность и морозоустойчивость дорожной одежды обеспечивается путем существенного возвышения (до 1,9 м) низа ее над поверхностью земли и горизонтом поверхностных и грунтовых вод в сочетании с устройством морозозащитных слоев (толщиной до 0,5 м) из кондиционных песков. Еще более мощные морозозащитные слои - до 2/3 глубины промерзания - устраивают в населенных пунктах и местах, где существует ограничения высоты насыпи, а также в выемках, протяженность которых с каждым годом растет, в том числе на увеличивающейся сети дорог высших категорий, которым предъявляют высокие требования в отношении плана и продольного профиля. Вследствие чего наметилась тенденция к увеличению дальности возки грунта из-за трудности отводов земель под дорожное строительство. Вследствие чего увеличиваются затраты на сооружение земляного полотна, составляя в среднем 28 % стоимости дорожного строительства. Положение в дорожной организации еще больше осложняется, когда увеличивается потребность в привозных дренирующих материалах для морозозащитного слоя.

Ежегодные затраты на ремонтные работы, связанные с ликвидацией последствий влияния криопроцессов на дорожные конструкции, малоэтажные здания и сооружения составляют огромные суммы. Повреждения дорог от морозных воздействий широко распространены даже в относительно теплых странах, как Великобритания и США. Следствием этого явилось создание в США специального комитета по морозному пучению и мерзлотным явлениям в грунтах, призванного осуществлять разработку мероприятий по борьбе с криопроцессами в дорожном и аэродромном строительстве.

Инженерное прогнозирование параметров морозного пучения грунтов, несмотря на многочисленность исследований этого вопроса, развито в недостаточной степени и особенно отсутствуют исследования по причинам образования морозобойных трещин на

асфальтобетонных покрытиях. В первую очередь это объясняется неясностью физической стороны процессов, сопровождающих криогенное пучение, что затрудняет математическую формулировку задачи. Исследования проводятся специалистами разных отраслей науки, в связи, с чем проблема рассматривается с разных точек зрения. Специалистов геологического направления в первую очередь интересуют общие вопросы закономерностей формирования и развития толщ сезоннопромерзающих пород при отсутствии сооружений, а для проектировщиков дорог представляют интерес деформации ненагруженных поверхностей.

Прогноз деформации и оттаивания пучинистых грунтов, особенно в случае стабилизированного состояния, относительно хорошо разработан, но нет методик прогнозирования формирования морозобойной трещины на автомобильной дороге. Вместе с тем, при оттаивании массивов сложной формы дорожной конструкции происходит неравномерное оседание, которое зависит от рельефа местности, типа грунта, технологии строительства и расчёты выполняются весьма несовершенными методами.

Одним из основных способом улучшения свойств грунтов является его осушение. Однако, данный способ эффективен для песчаных и супесчаных грунтов, что не дает положительных результатов для суглинистых, глинистых и илистых грунтов, вследствие своей большой водоудерживающей способности. Большинство же слабых глинистых грунтов имеет незначительный коэффициент фильтрации, меньший 0,01 м/сутки и для улучшения свойств данных грунтов существует множество способов и методов, таких как электрохимическое закрепление, устройство гидроизолирующих прослоек, морозозащитных и теплоизолирующих слоев и т.п.

В результате применения таких технологий слабые глинистые грунты становятся более прочными и водостойкими или увеличивается срок службы дороги при использовании теплоизолирующих материалов.

С середины 1960-х в Скандинавии в качестве теплоизолирующего и морозозащитного используется пенопласт, который обеспечивает прекрасную защиту от мороза фундаменты, трубопроводные системы и основания железных дорог.

В настоящее время теплоизолирующие слои из пенопласта устраивают редко из-за высокой стоимости этого материала.

Способ электрохимического закрепления грунтов, начиная с конца 30-х годов прошлого столетия, неоднократно применялся на отдельных объектах гидротехнического, промышленного, гражданского и железнодорожного строительства в ряде стран мира (Германии, Польше, Китае, Норвегии, Японии, Италии, Канаде, США и т.д.). Достоинством электрохимической обработки грунтов является малая трудоёмкость, высокая степень механизации и электрификации работ, возможность улучшения свойств грунта без его переработки (и разработки), проведение работ во время эксплуатации сооружений и дорог, но оказывалось воздействие на окружающую среду. Практика использования таких методов, как электрохимическое закрепление, устройство теплоизолированных и парогидроизоляционых слоёв, увеличение высоты насыпи и др., строятся на простейших (интуитивных) принципах, основанных на решении одномерной тепловой задачи и только при борьбе с таким явлением на автомобильных дорогах как морозное пучение.

Однако в настоящее время отсутствуют не только рекомендации по выбору метода борьбы с морозобойными трещинами, но и нет чёткого описания и причин образования данного явления в дорожном строительстве

Проблема увеличения сроков службы дорожных конструкций автомобильных дорог на всей территории России, в условиях рыночной экономики, заставляет многих учёных вновь и вновь возвращаться к решению определённых задач по улучшению ровности, борьбы с криопроцессами в грунтах. Несмотря на то, что наиболее эффективным путём увеличения прочности и долговечности автомобильных дорог является направленное регулирование водно-теплового режима дорожной конструкции, которое должно обеспечивать сезонную стабильность деформационных и прочностных характеристик грунтов в зависимости от температуры и влажности, усилия учёных направлены на поиски более экономических

решений данной проблемы. Данная проблема решалась усилением прочности делового слоя, увеличением коэффициента уплотнения, армированием, устройством противопучинных мероприятий и гидроизоляционных слоёв, применением различных методов закрепления.

Решение проблемы в последнее десятилетие получило применение теплоизоляционных материалов и геосеток в слоях дорожной одежды автомобильной дороги. За счёт применения данных технологий возможно лишь частично регулировать теплообмен в дорожной конструкции и увеличить сроки службы автомобильной дороги.

Однако, дорожная конструкция, рассчитанная с использованием существующих технологий, приводят к увеличению стоимости работ, сроков строительства и требуют учитывать местные и климатические условия.

Таким образом, возникает необходимость изучения причин образования морозобойных трещин на автомобильных дорогах с усовершенствованными и капитальными типами покрытий, а также оптимального выбора метода борьбы с данным явлением для разных видов дорожных работ - строительство новой дороги, реконструкция или капитальный ремонт участка автомобильной дороги.

Список литературы

1. СНиП 2.05.07-91. Промышленный транспорт.
2. ВСН 26-90. Инструкция по проектированию и строительству автомобильных дорог нефтяных и газовых промыслов Западной Сибири.
3. *Жинкин, Г.Н*. Электрохимическая обработка глинистых грунтов в основаниях сооружений [Текст] : учебное пособие / Г.Н. Жинкин, В.Ф. Калганов. М. : Стройиздат, 1980 – 164 с.

05.07.05

Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Пермский национальный исследовательский политехнический университет" (ПНИПУ),
Центр высокопроизводительных вычислительных систем,
Пермь, liliya.butymova@yahoo.com, modorsky@pstu.ru

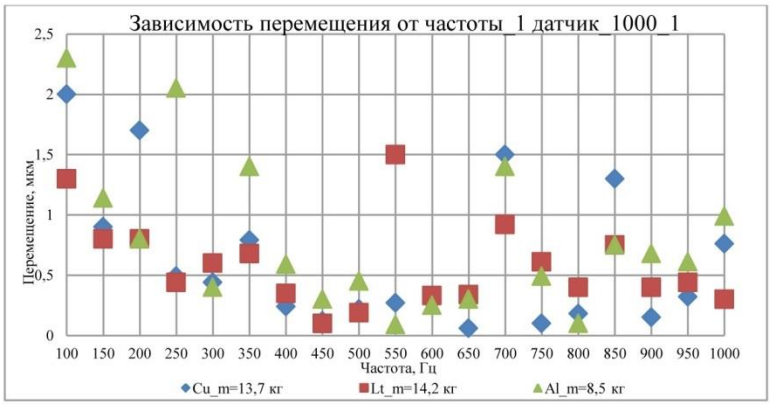
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМАХ В МОДЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

В работе представлены результаты физического эксперимента на модельной установке. Особый акцент уделен результатам при резонансной массе, для каждой из оболочек, выбранных для эксперимента. Диапазон частот, в которых проводятся измерения от 0 до 1000 Гц.

Ключевые слова: *физический эксперимент, модельная установка, резонансная масса.*

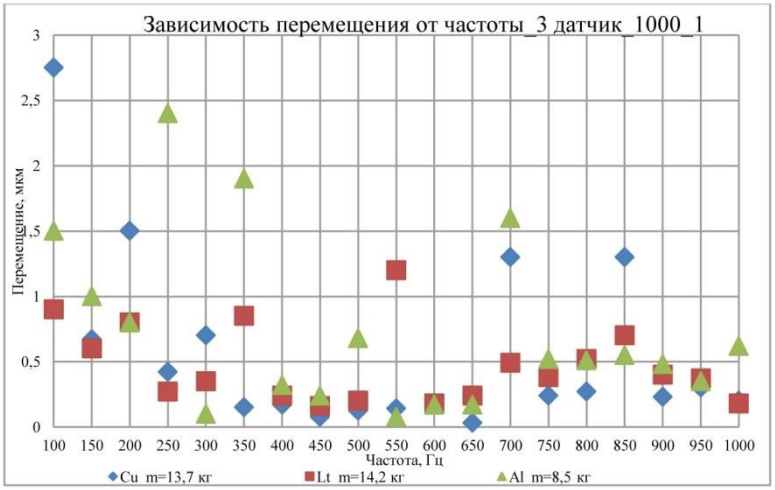
Исследовалось влияние материала модельной камеры на величину присоединенной массы, соответствующей резонансу конструкции. Были выбраны три материала: медь, латунь и алюминий. Геометрические характеристики камеры для всех трех оболочек были одинаковыми: длина – 1000 мм, толщина – 1 мм [1].

На рисунке 1 показана зависимость перемещений от частоты, обусловленной присоединенной массой, соответствующей резонансу для каждой из трех оболочек.



а

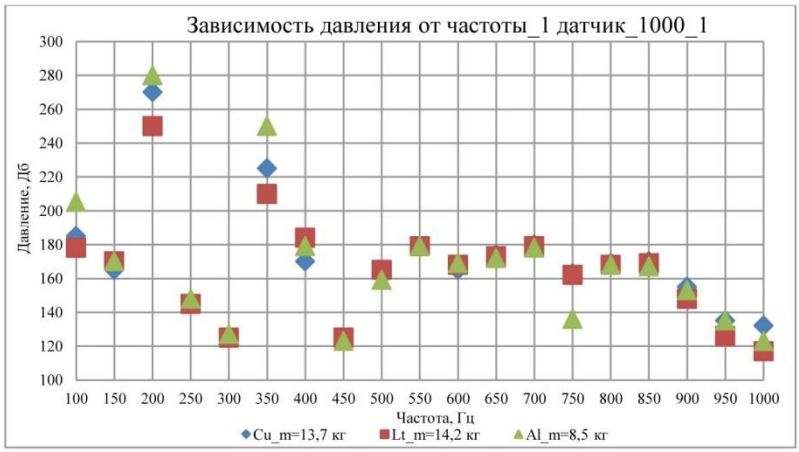
б



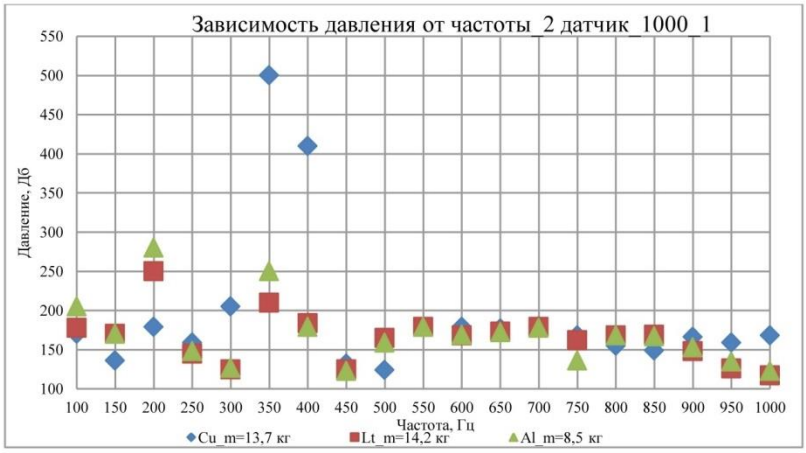
в

Рис.1 – Зависимость перемещения от частоты, обусловленной присоединенной массой, соответствующей резонансу: а – 1 датчик; б – 2 датчик; в – 3 датчик

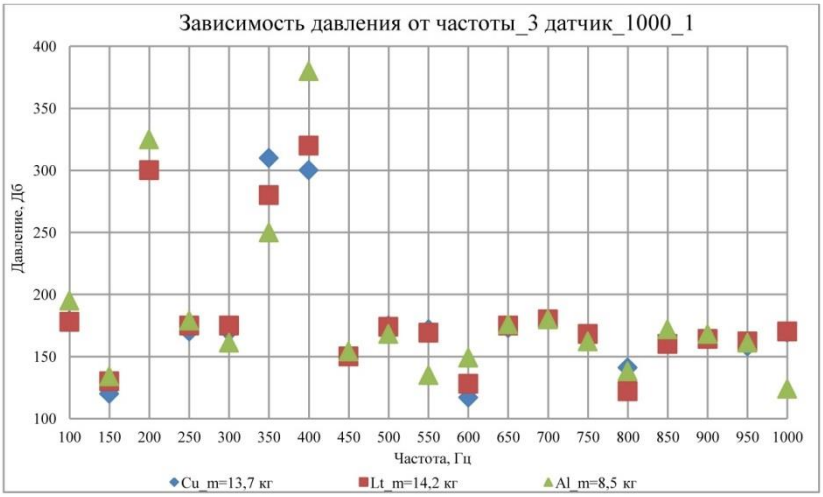
На рисунке 2 показаны зависимости амплитуд колебаний давления от частоты нагружения при массе грузов, соответствующих резонансу.



а



б



в

Рис.2 – Зависимость амплитуд колебаний давления от частоты нагружения, обусловленной присоединенной массой, соответствующей резонансу: а – 1 датчик; б – 2 датчик; в – 3 датчик

Полученные результаты представлены в сводных таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1. Результаты эксперимента (оболочка из меди)

№ датчика	№ моды					$m_{рез}^{эксп}$	$m_{рез}^{аналит}$
1	$f_{рез}$	1	2	3	4	13,7 кг (при $f_{рез}$=330 Гц)	13,96 кг (при $f_{рез}$=330 Гц)
	$f_{рез}^{к}$	200	350	700	-		
	$f_{рез}^{г}$	200	350	-	-		
2	$f_{рез}^{к}$	200	700	-	-		
	$f_{рез}^{г}$	200	350	-	-		
3	$f_{рез}^{к}$	250	350	500	700		
	$f_{рез}^{г}$	200	350	-	-		

Таблица 2. Результаты эксперимента (оболочка из латуни)

№ датчика	№ моды					$m_{рез}^{эксп}$	$m_{рез}^{аналит}$
1	$f_{рез}$	1	2	3	4	14,2 кг (при $f_{рез}$=330 Гц)	13,96 кг (при $f_{рез}$=330 Гц)
	$f_{рез}^{к}$	200	350	700	-		
	$f_{рез}^{г}$	200	350	-	-		
2	$f_{рез}^{к}$	200	700	-	-		
	$f_{рез}^{г}$	200	350	-	-		
3	$f_{рез}^{к}$	250	350	500	700		
	$f_{рез}^{г}$	200	350	-	-		

Таблица 3. Результаты эксперимента (оболочка из алюминия)

№ датчика	№ моды					$m_{рез}^{эксп}$	$m_{рез}^{аналит}$
1	$f_{рез}$	1	2	3	4	8,5 кг (при $f_{рез}$=330 Гц)	8,5 кг (при $f_{рез}$=330 Гц)
	$f_{рез}^{к}$	250	350	700	-		
	$f_{рез}^{г}$	200	350	-	-		
2	$f_{рез}^{к}$	250	700	-	-		
	$f_{рез}^{г}$	200	350	-	-		
3	$f_{рез}^{к}$	200	350	700	-		
	$f_{рез}^{г}$	200	400	-	-		

Видно, что для рассмотренных конструкций, выполненных их различных материалов (медь, алюминий и латунь) существуют несколько ярко выраженных резонансов, на которых конструкция и газ начинают взаимодействовать, причем у конструкции резонансов больше, что показывают для 1 и 3 датчики. Вторые датчики для газа и для конструкции регистрируют по два резонанса.

Первый резонанс совпадает для конструкции и для газа, с точностью 50 Гц. Точность обусловлена принятым планом вычислительных экспериментов. На втором резонансе, для второго датчика, для всех рассмотренных материалов, конструкция резонирует на частотах больших, чем газ. Различие составляет 350 Гц.

Таким образом, эксперименты показали, что в газовой полости формируется стоячая волна, соответствующая низшей моде колебаний, а в конструкции реализуется множество мод, низшая из которых соответствует стоячей волне в газе. Для повышения точности измерений требуется уточнить план вычислительных экспериментов и проводить замеры с шагом 1 Гц в области резонанса [2].

Список литературы

1. *Бутымова Л.Н.* Численное моделирование напряженно-деформированного состояния активной заглушки резонатора / Бульбович Р.В., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., Модорский В.Я., Писарев П.В. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. –№1 – С. 95-100

2. *Модорский В.Я., Соколкин Ю.В.* Газоупругие процессы в энергетических установках. – М. Наука, 2007 – 176 с.

05.07.05

Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский, Ю.В. Соколкин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения
высшего профессионального образования
"Пермский национальный исследовательский политехнический университет" (ПНИПУ),
Центр высокопроизводительных вычислительных систем,
Пермь, liliya.butymova@yahoo.com, modorsky@pstu.ru

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА КОРПУСА НА РЕЗОНАНСНЫЕ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМЕ «ГАЗ-КОНСТРУКЦИЯ»

В работе представлены результаты физического эксперимента на модельной установке. В ходе физического эксперимента исследовалось влияние физико-механических характеристик материала оболочки модельной установки на ее перемещения. Произведена оценка влияния колебаний газового потока на перемещения оболочки в продольном и радиальном направлениях.

Ключевые слова: *физический эксперимент, модельная установка, резонансная частота.*

Экспериментальная установка (рис.1) состоит из модельной камеры и системы измерения и регистрации.

Модельная камера состоит из следующих основных частей: основание, корпус и регулировочные диски. Основание состоит из базового кольца, которое крепится 8 болтами к четырем опорам. Опоры представляют собой наборы из пяти дисков, соединенных между собой точечной сваркой. Корпус включает в себя три сборочные единицы. Первая – цилиндр, который состоит из следующих элементов: обечайка – тонкостенная стальная труба, три фитинга для установки датчиков давления и один фитинг для присоединения манометра. К корпусу модельной камеры с помощью винтов со стороны одного торца крепится крышка со штуцером для подвода рабочего тела, со стороны другого торца крышка со штуцером для отвода рабочего тела. Герметичность обеспечивается уплотнительными резиновыми кольцами. При этом появляется возможность проводить настройки и измерения при использовании различных рабочих тел – как газа, так и жидкости. Штуцеры соединены с крышками аргонодуговой сваркой. Для крепления корпуса к основанию к крышке привариварены четыре кронштейна.

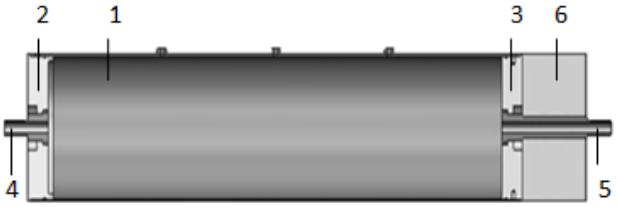


Рис.1 – Конструктивная схема экспериментальной установки:
1– корпус, 2, 3 – крышки, 4, 5 – штуцеры, 6 – модельные элементы

Для настройки частотных характеристик корпуса модельной камеры на резонансный режим на выходной штуцер надеваются регулировочные диски, которые фиксируются гайкой. Для настройки свободного объема модельной камеры на резонансный режим в выходной штуцер продевается штанга с регулировочным диском. Глубина погружения регулировочного диска на штанге в модельную камеру определяется фиксирующим штифтом, устанавливаемым в отверстия штанги.

Для моделирования потока газа предусмотрена система подачи и отвода рабочего тела (газа/жидкости). На первом этапе исследований в качестве рабочего тела используется воздух.

Система измерения и регистрации состоит из программно-аппаратного комплекса на базе National Instruments NI PXI-1050. Кроме того, в состав установки входят: усилитель, внешняя звуковая карта, согласующее устройство, соединительные провода и разъемы. В качестве измерительной системы использовалось шасси NI PXI\SCXI 1050 с установленным модулем сбора динамических сигналов NI PXI 4472 B. Используются датчики вибраций PCB 352C03, со следующими характеристиками: чувствительность 10 мВ/g, частотный диапазон 0,3 Гц – 15 кГц, масса 5,8 гр., разъем 10-32 Jack. Это пьезоэлектрические датчики со встроенным микроэлектронным предусилителем заряда. Питание встроенного усилителя производится по двухпроводной схеме. Для измерения давления используются датчики давления ДАВ 084-1Б6. Вместе с тем, имеется возможность применения микрофонов конденсаторного типа с частотным диапазоном 50 Гц – 16 кГц, с разъемом типа 3,5 мм *Jack*. Микрофоны позволяют преобразовывать звуковое давление в электрический сигнал и служат первичным преобразователем в цепочке звукозаписывающего тракта. Микрофон является датчиком относительного (дифференциального) давления в газах. Сигналы с микрофонов через специальную согласующую плату передаются на оборудование сбора данных.

Разработан виртуальный прибор параметров вибрации для обеспечения технологических процессов подготовки к испытаниям, с учетом эффектов взаимодействия в системе «газ-конструкция», осуществлен контроль параметров вибраций и оценки влияния массовых характеристик на колебания. Модуль предназначен для одновременного определения временных зависимостей давления, виброускорений, виброскоростей и виброперемещений в нескольких контрольных точках конструкции. Данный модуль обеспечивает необходимую точность измерений, а также проведение комплексного анализа сигналов, включая спектральный анализ. Возможны экспорт и обработка файлов измерения в MS Excel. Модуль содержит структурированные данные.

На первой вкладке расположено семь графиков, которые отображают результаты эксперимента с накоплением. Метка-название вертикальной оси на графике соответствует номеру измерительного канала на модульном приборе National Instruments, к которому подключен датчик. По горизонтальной оси откладываются номера выборок. Справа от графиков располагается легенда.

Три верхних графика (ai0, ai1, ai2) показывают данные, получаемые с вибродатчиков. При переключении элемента управления оператор может выбрать отображение на графике виброускорений [м/с^2], виброскорости [мм/с] или виброперемещений [мкм]. Текущее значение параметра отображается в поле справа от элемента управления.

Следующие три графика (ai3, ai4, ai5) показывают данные, получаемые с микрофонов. При переключении элемента управления оператор может выбрать отображение на графике исходного сигнала в [В] или в [дБ]. Текущее значение параметра также отображается в поле справа.

Последний график (ai6) показывает данные, подаваемые на генератор сигнала.

Разработана методика работы проведения физических экспериментов с помощью виртуального прибора «Флаттер».

Для проведения экспериментальных исследований влияния физико-механических характеристик материала конструкции на характеристики резонансных колебаний необходимо подобрать такие геометрические и массовые характеристики конструкции, чтобы обеспечить резонанс модельной камеры и газовой полости.

Поэтому, на этапе проектирования модельной камеры, проведены проектные численные эксперименты и аналитические расчеты конструкций из различных материалов [1].

Задавались следующие исходные данные:

Таблица 1. Характеристики конструкций.

Материал	Сталь (i=1)	Латунь (i=2)	Алюминиевый сплав (i=3)
Толщина оболочки, δ, м	0,001	0,001	0,001
Длина оболочки, L, м	1	1	1

Расчеты величин масс регулировочных грузов, обеспечивающих резонанс газа и конструкции, проводились по следующим зависимостям:

$$m^{i}_{рез} = \frac{E_i \; R \; \delta}{L \; 2 \; \pi \; f_к^{\,2}}$$

При этом полагалось, что $f^{конс}_{\text{рез}} = f_{\text{рез}}^{\;газа}$. В свою очередь $f_{\text{рез}}^{\;газа}$ определялась по формуле:

$$f_{\text{рез}}^{\;газа} = \frac{a}{L}$$

где a = 330 м/с, L = 1 м.

В результате расчетов определены $m^{i}_{\text{рез}}$:

для стали (i=1): $m^{1}_{\text{рез}}$=24,27 кг; для латуни (i=2): $m^{2}_{\text{рез}}$=13,96 кг; для алюминиевого сплава (i=3): $m^{3}_{\text{рез}}$=8,5кг.

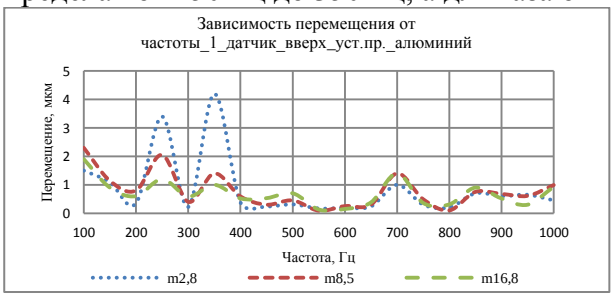
Вместе с тем, проведены численные расчеты для труб с соответствующими таблице 1 характеристиками:

В результате численных расчетов в ANSYS Workbench определены $f^{\,i}_{\text{рез}}$:

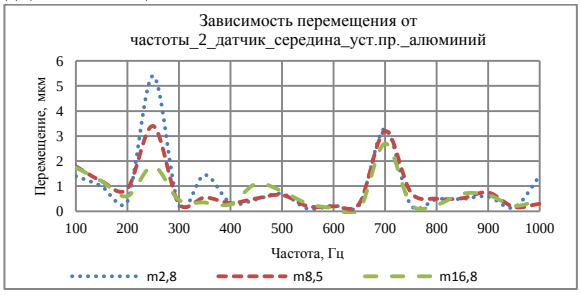
для стали (i = 1): $f^{\,1}_{\text{рез}}$ = 367 Гц (при $m^{1}_{\text{рез}}$=24,27 кг); для латуни (i = 2): $f^{\,2}_{\text{рез}}$ = 333 Гц (при $m^{2}_{\text{рез}}$=13,96 кг); для алюминиевого сплава (i = 3): $f^{\,3}_{\text{рез}}$ = 350 Гц (при $m^{3}_{\text{рез}}$=8,5кг).

Физический эксперимент показал следующие результаты (рис. 3 и 4):

-для алюминия зависимости перемещения и давления от частоты, представлены на графиках ниже. Видно, что для алюминия резонансная частота для конструкции находится в пределах от 250 Гц до 350 Гц, а для газа от 200 Гц до 400 Гц.



а



б

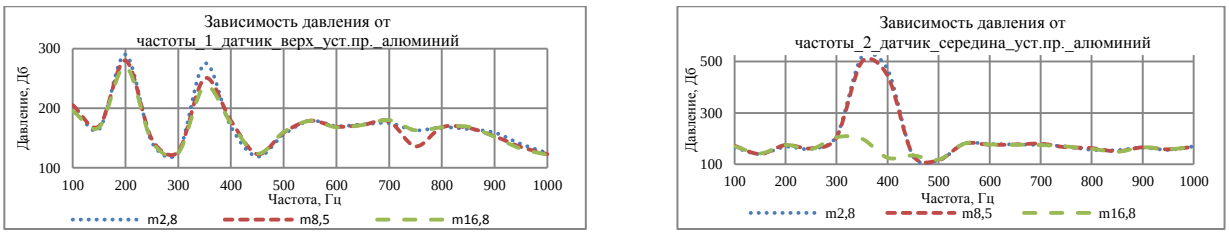
в

Рис. 3 – Зависимость перемещений от частоты, мкм:
а – верхний датчик; б – средний датчик; в – нижний датчик

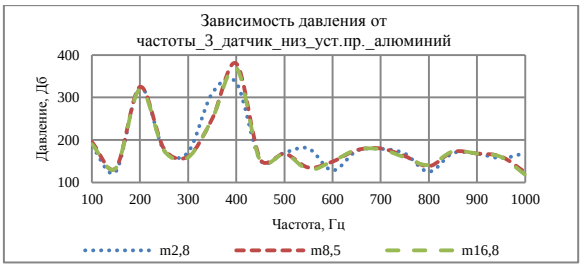
-для латуни зависимости перемещения и давления от частоты, представлены на графиках ниже. Видно, что для латуни резонансная частота для конструкции находится в пределах от 350 Гц до 550 Гц, а для газа от 200 Гц до 400 Гц;

-для меди резонансная частота для конструкции находится в пределах от 700 Гц до 850 Гц, а для газа от 200 Гц до 350 Гц;

-для стали с толщиной стенки 0,5 мм резонансная частота для конструкции находится в пределах от 700 Гц до 900 Гц, а для газа от 200 Гц до 350 Гц.



а б



в

Рис. 4 – Зависимость давления от частоты, Дб:
а – верхний датчик; б – средний датчик; в – нижний датчик

Видно, что влияние массы на резонансную частоту газа отсутствует.

По результатам проведения физического эксперимента, разработана соответствующая методика. Методика включает в себя этапы подготовки установки для физического эксперимента, проведения экспериментальных исследований и этапы анализа полученных результатов с необходимой детализацией.

Список литературы

1. *Модорский В.Я., Соколкин Ю.В.* Газоупругие процессы в энергетических установках. – М. Наука, 2007 – 176 с.

05.23.17

С.Н. Бутырский, О.А. Ковальчук к.т.н.

Московский государственный строительный университет,
Институт фундаментального образования,
кафедра Теоретической механики и аэродинамики,
Москва, serbut@mail.ru, oko@mail.ru

ТЕХНОГЕННОЕ ВИБРАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЗДАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ

В статье представлены экспериментальные и расчетные исследования динамических явлений в зданиях повышенной этажности, вызванных техногенным вибрационным воздействием (метро) на примере 18-этажного крупнопанельного здания серии КОПЭ. Экспериментальные данные получены путем натурных измерений динамических характеристик на здании, расположенном в СВАО г. Москвы вблизи линии метро неглубокого заложения.

Ключевые слова: *вибрационное воздействие, здание повышенной этажности, динамическое явление, натурное измерение, диапазон частот.*

Для современного градостроительства характерна ограниченность и стесненность территории, выделяемой под застройку жилых зданий. Развитие наземной и подземной транспортных сетей связано с появлением в структуре городской среды высокочастотных динамических вибраций, передаваемых по грунту на фундамент здания и другие элементы конструкции. Возникающие в здании вибрации не оказывают существенного влияния на прочность соединений и элементов конструкции, но могут вызывать превышающие нормативные значения уровни вибрации, шума. Предельно допустимые значения вибрации в жилых помещениях утверждены Минздравом России и другими локальными нормативными актами.

Экспериментальные данные получены для возведенного 18-этажного крупнопанельного здания. Рядом проходит линия метро неглубокого заложения (рис. 1).

Рис. 1 – План расположения исследуемого здания.

Регистрирующим прибором служил персональный компьютер, использовавшийся для записи сигнала от виброметров, оцифрованного через аналого-цифровой преобразователь. Для обработки данных использовался пакет разработанных программ. Приборы прошли поверку в Московском государственном строительном университете.

Произведены записи колебаний плит перекрытий при возмущающем динамическом воздействии (удар в центр панели перекрытия) и определены собственные частоты перекрытий на 1, 3, 5, 8, 12, 15, 18 этажах. При прохождении поездного состава метро также получены собственные частоты плит перекрытий для этих этажей.

Получены виброграммы амплитуды перемещений здания от воздействия ветра. Определены формы колебаний для первых собственных частот здания. Использовался прибор TSS-101 (с датчиком И-001), имеющий сертификат соответствия. Измерения проводились на 18 этаже здания.

Важной особенностью полученных результатов явилось следующее:

- на возмущающие частоты (при прохождении поезда метро), переданные через фундамент, нижние плиты перекрытия здания реагируют незначительным по спектру откликом;

- на указанное воздействие перекрытия верхних этажей здания имеют более значительный отклик, близкий к резонансу.

В дополнение к экспериментальным исследованиям произведен численный расчет с использованием программного комплекса Ansys. Пространственная расчетная модель здания создана в соответствии с проектом 18-этажного здания КОПЭ.

В результате получены формы колебаний здания для спектра собственных частот 0-70 Гц. Результаты расчета сравнивались с экспериментальными данными по первым собственным частотам и формам колебаний здания.

Анализ результатов показал хорошую сопоставимость расчета и данных, полученных в результате натурных измерений. Максимальная погрешность – 11 %.

Подтвердилось предположение: при техногенном внешнем вибрационном воздействии на здание повышенной этажности существует близость собственных частот изгибных колебаний здания и вертикальных колебаний перекрытий именно верхних этажей.

Для получения других данных о поведении элементов конструкции здания предположено, что здание расположено на расстоянии 11,5 м от технической зоны метро (стоянка 2) (рис. 1).

В расчетной модели на основе экспериментальных данных поочередно вдоль координатных осей на уровне фундамента здания задавалось осредненное значение смещения на величину $55 \cdot 10^{-5}$ мм и гармоническая вибрационная нагрузка, соответствующая допустимым значениям вибрации, указанным в таблице 1.

Получены вертикальные перемещения (прогибы) плит перекрытий.

Тогда среднеквадратическое значение виброскорости равно:

$$V_{ср.кв.} = \frac{f \cdot A}{\sqrt{2}}$$

Логарифмические уровни виброскоростей (в дБ) перекрытий в вертикальном направлении вычисляются по формуле:

$$L_r = 20 \cdot \lg V_{ср.кв.} / 5 \cdot 10^{-8},$$

где $5 \cdot 10^{-8}$ - опорное значение виброскорости, м / с.

Полученные результаты сравнивались с допустимыми значениями вибрации в помещениях, установленными нормами и представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимые значения вибрации в помещениях

Среднегеометрические частоты полос					
1		2		3	
16 Гц		31,5 Гц		63 Гц	
дневное время	ночное время	дневное время	ночное время	дневное время	ночное время
Допустимые значения для жилых помещений, палат больниц, санаториев виброскорость / виброускорение [дБ]					
72 / 86	67 / 81	72 / 92	67 / 87	72 / 98	67 / 93
Допустимые значения для административных и общественных помещений виброскорость / виброускорение [дБ]					
75 / 89		75 / 95		75 / 101	

На основании расчета можно сделать следующие выводы:

- отдельные перекрытия на верхних этажах имеют большую амплитуду прогибов, чем на нижних этажах, что вполне согласуется с экспериментальными данными и выполненными расчетами;
- допустимые значения вибрации отдельных перекрытий превышают установленные нормы, указанные в таблице 1;
- если крупнопанельное здание повышенной этажности возвести на расстоянии от метро неглубокого заложения как у стоянки 2 или ближе, то необходимо выполнить мероприятия по виброзащите здания. Такие мероприятия выполнены на соседних аналогичных зданиях, расположенных в «виброактивной зоне метро» (рис. 1).

Таким образом, примененные методики можно использовать на предварительном этапе работ при решении вопроса возведения зданий повышенной этажности вблизи источников вибрации техногенного характера.

Список литературы

1. *Андреева П.И., Ковальчук О.А.* «Сравнительный анализ результатов экспериментальных натурных динамических исследований и расчета динамических характеристик высотного жилого здания». // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2012. - Volume 8, Issue 4. С.13-18.
2. *Дашевский М.А., Миронов Е.М., Моторин В.В.* Виброзащита зданий - теория и реализация. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2002, № 5.
3. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях. МГСН 2.04.-97.
4. Проект «КОПЭ-2000. КТЖС 9-18. Крупнопанельные жилые дома повышенной этажности, скомпонованные из КОПЭ».
5. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Утв. Пост. Госкомсанэпиднадзора России № 40. 1996.

05.11.16

А.М. Васильев, Н.А. Олейников

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
факультет приборостроения и радиоэлектроники,
кафедра приборов и информационно-измерительных систем,
Москва, amvrf@yandex.com

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНЫМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

В статье представлены результаты разработки функциональной схемы информационно-измерительной системы управления бесперебойным питанием сложного технического объекта, который представлен в виде совокупности информационно-измерительной и управляющей системы и совокупности исполнительных устройств, входящих в агрегат бесперебойного электропитания. Представлена функциональная схема интегрированного статического преобразователя как основного составляющего элемента агрегата бесперебойного электропитания.

Ключевые слова: *математическая модель, агрегаты бесперебойного электропитания, информационно – управляющая система, интегрированный статический преобразователь, автономный объект.*

Для построения и анализа функциональной схемы информационно-измерительной системы управления (ИИСУ) сложного технического объекта (СТО) в составе структуры агрегата бесперебойного питания (АБП) проведем построение функциональной схемы интегрированного статического преобразователя (ИСП) как основного составляющего элемента АБП.

На рис. 1 представлена обобщенная функциональная схема статического преобразователя, отвечающая требованиям к АБП, сформулированным выше [1].

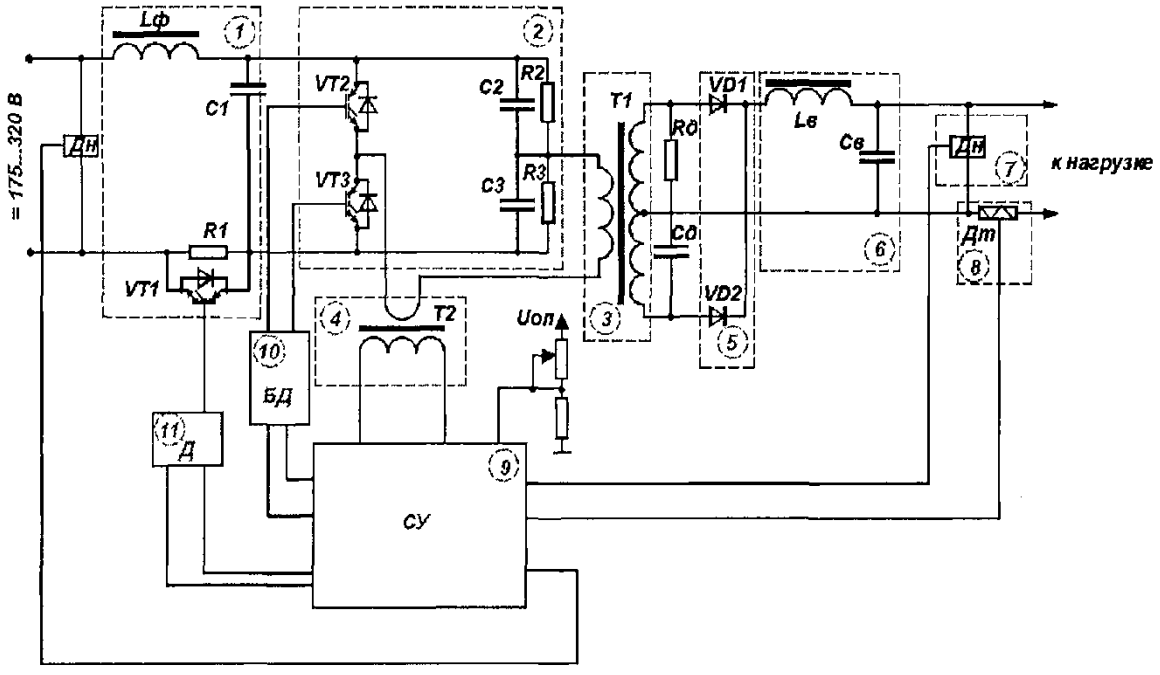


Рисунок 1 - Функциональная схема ИСП

Такая схема спроектирована на основе общей структуры АБП с учетом требований, предъявляемых к параметрам питания ответственных потребителей:

• низкий уровень пульсаций выходного параметра - напряжения постоянного тока;

• устойчивость к импульсным перенапряжениям на входе преобразователя;

• устойчивость к внешним коротким замыканиям, малые значения постоянных времени и отклонений стабилизируемого параметра переходных процессов при различных коммутационных режимах;

• защита от превышения напряжения величины заданного значения как на входе, так и на выходе.

При этом необходимо иметь в виду временные задержки прохождения сигнала управления и сигнализации как местного, так и дистанционного характера.

Эти задержки будем считать пренебрежимо малыми по сравнению с достаточным временем преобразования сигнала управления, то есть ими можно пренебречь.

Такое допущение можно сделать, благодаря применению современных микроконтроллеров с развитой периферической структурой и мощным логико-математическим ядром.

На схеме обозначены: 1 - входной фильтр, 2 - инвертор, 3 - силовой трансформатор, 4 - трансформатор тока, 5 - выпрямитель, 6 - выходной фильтр, 7 - датчик напряжения, 8 - датчик тока, 9 - система управления, 10 -блок драйверов, 11 - драйвер.

С использованием такой функциональной схемы можно проводить построение комплексных устройств.

Видно что, функциональная схема на рис. 1 получается достаточно сложной для непосредственного перехода к структуре ИИСУ СТО.

Это обуславливается наличием узла с переменной структурой (входной фильтр ИКП), наличием двойного преобразования тока (ТТ и ДТ), наличием ключей инвертора, имеющих свои постоянные времени переходных процессов в режимах отпирания и запирания перехода и др.

Причем параметры полупроводниковых приборов и реактивных цепей колеблются в определенных пределах, что связано с технологией изготовления узлов и элементов их составляющих.

Из приведенной функциональной схемы вытекает структура ИИСУ ИСП.

Составим приведенную структуру ИИСУ ИСП, приняв некоторые допущения (рис. 2).

Такая структура позволяет прейти к математическому описанию структуры ИИСУ рассматриваемых СТО, применив принципы теории автоматического управления (ТАУ), используемые при проектировании и исследовании нелинейных импульсных САР [2].

Для определения соотношений передаточных функций для звеньев линеаризованной структуры математической модели введем допущения [3].

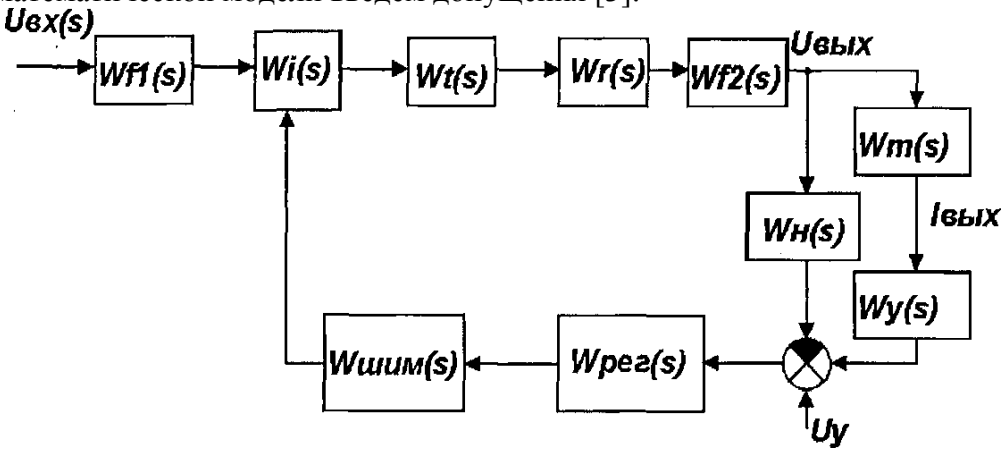


Рисунок 2 - Структурная схема математической модели ИИСУ СТО

Центральным узлом структуры является регулятор (в общем случае - это ПИД-регулятор) и широтно-импульсный модулятор (ШИМ).

Контур нагрузки представляет собой последовательное соединение звеньев: датчика тока $W_m(s)$ с согласующим усилителем $W_y(s)$.

Оба звена представляют собой пропорциональные звенья, также как и датчик напряжения $W_H(s)$

$$W_m(s) = k_2, k_2 \prec\prec 1$$
$$W_Y(s) = k_3, k_3 \succ 1 \qquad (1)$$
$$W_H(s) = k_4, k_4 \succ 1.$$

Передаточная функция ПИД, как следует из самого названия, содержит пропорциональное, интегральное и дифференциальное звенья, соединенные параллельно [2].

Для математического описания ШИМ воспользуемся классическим представлением структуры импульсного модулятора на примере модели частотно-импульсного модулятора (ЧИМ) [2].

Как известно, частотно - импульсная модуляция предполагает изменение частоты следования импульсов в линейном соответствии с модулирующим воздействием.

При этом частота следования импульсов понимается как мгновенная частота колебаний синусоидальных частотно - модулированных колебаний, у которых фазовые значения

$$\varphi_n = \varphi_0 + 2\pi n, \varphi = const, n = 1,2,... \qquad (2)$$

совпадают с моментами t_n появления импульсов.

Скорость изменения фазы модулируемого вектора *u* изменяется в линейном соответствии с внешним воздействием $x(t)$ точно также как и в случае непрерывной модуляции гармонического сигнала.

Проведем построение структуры ШИМ - модулятора с учетом применения ШИМ в качестве управляющего звена в ИУС АБП АО. Для этого используем также геометрическую интерпретацию, но в отличие от ЧИМ представим параметры ШИМ в виде скалярных функций [2].

Исходя из вышеизложенного, получим обобщенную структуру ИИСУ СТО, приведенную на рис. 6.

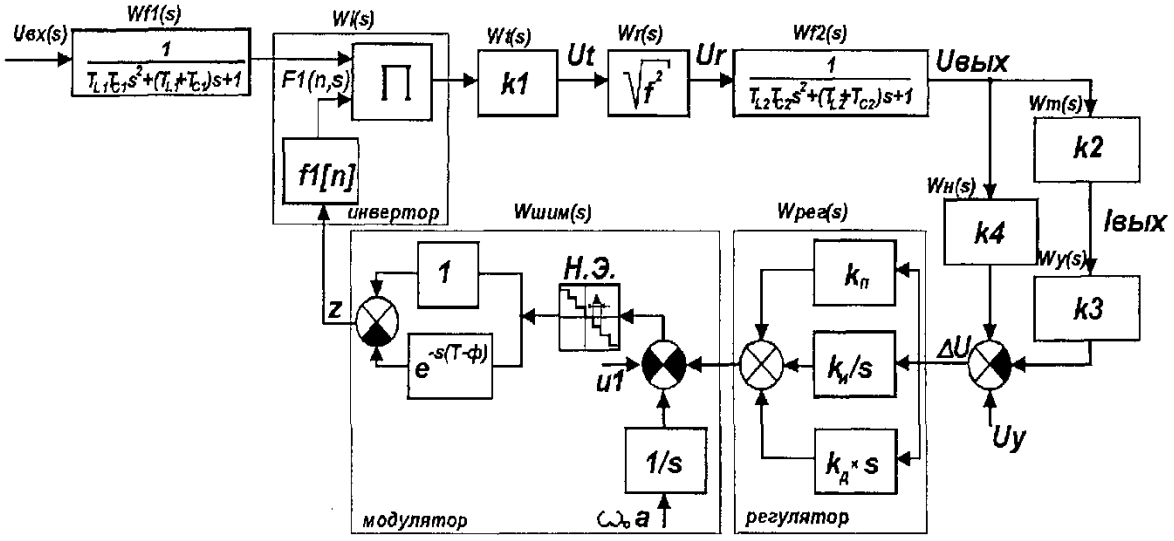


Рисунок 6 - Обобщенная структура математической модели ИИСУ СТО

Передаточная функция $Wf1(s)$, как отмечалось выше, определяет влияние динамических процессов во входной сети, при учете скачков и провалов напряжения $U_{вх}$.

Список литературы

1. *Востриков А.С., Французова Г.А.* Теория автоматического регулирования - М.: Машиностроение. 2003. – 364 с.
2. *Джури Э.* Импульсные системы автоматического регулирования – М.: Физматгиз. 1963. - 456 с.
3. *Васильев А.М.* Современные распределенные информационно-измерительные системы. Методология построения. Книга 1.- М.: МГУПИ, 2008. – 235 с. ил.

05.13.15

Д.В. Вожегов, Д.А. Страбыкин д.т.н

ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет»,
факультет автоматики и вычислительной техники,
кафедра электронных вычислительных машин,
Киров, vodimitriy@rambler.ru

МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕДУКТИВНОГО ВЫВОДА ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ЗАКЛЮЧЕНИЮ УТВЕРЖДЕНИЙ

Предлагается метод логического вывода предшествующих заключению утверждений на основе процедуры деления дизъюнктов. Применение метода проиллюстрировано на примере с использованием исчисления высказываний.

Ключевые слова: *дедуктивный логический вывод, процедура деления дизъюнктов, определение предшествующих утверждений.*

В настоящее время существует множество параллельных методов логического вывода, способных эффективно использовать ресурсы современных вычислительных устройств. В соответствие с законом Густафсона [1] использование современных параллельных архитектур эффективно только при увеличении объёма параллельно обрабатываемых данных. Использование современных параллельных архитектур увеличивает накладные расходы процесса логического вывода, в связи с добавлением задач, связанных с созданием и планированием потоков, а также возникновением передач данных между потоками, выполняющимися на разных вычислительных устройствах. В большинстве случаев база знаний формируется человеком, что в соответствии с ростом её объёма, увеличивает вероятность внесения ошибок. Кроме того использование параллельных архитектур сопровождается увеличением объёма вычислений, передач данных между устройствами и накладных расходов при планировании вычислительных потоков, что повышает вероятность возникновения ошибок в системах обработки знаний. Возникает проблема снижения надёжности функционирования систем обработки знаний, а как следствие и доверия к полученным ими результатам. Одно из решений данной проблемы – это разработка методов логического прогнозирования, позволяющих получить полную информацию о предыдущих, текущей и следующих фазах вывода [2]. Полученная информация может быть использована, как непосредственно экспертом при отладке базы знаний, так и самой системой обработки знаний для самоконтроля в процессе вывода.

В работе предлагается метод параллельного дедуктивного вывода предшествующих заключений, основу которого составляет операция деления дизъюнктов [3]. Метод является двунаправленным и параллельным, позволяет определить утверждения, предшествующие выводимому из исходных правил и фактов заключению.

Постановка задачи. Задачу логического вывода предшествующих заключению утверждений, можно сформулировать следующим образом. Имеются исходные непротиворечивые посылки, заданные в виде множества дизъюнктов $M=\{D_1,D_2,\ldots,D_I\}$. Множество M может включать подмножество M^F однолитеральных дизъюнктов – фактов. Также имеется заключение, представленное множеством выводимых дизъюнктов $m=\{d_1,d_2,\ldots,d_T\}$. При этом дизъюнкты заключения не содержат литералов с инверсией. Задача формулируется следующим образом:

1) установить выводимость заключения, представленного множеством дизъюнктов m, из множества исходных посылок, заданных множеством дизъюнктов M;

2) определить семейство множеств утверждений $G^H=\{G_1,\ldots,G_h,\ldots,,G_H\}$, в котором множество утверждений G_h (h=1,…,H) состоит из утверждений, обеспечивающих с помощью

множества посылок M^h ($M^h \subseteq M$) вывод утверждений множества G_h: $G_{h+1}, M^h \Rightarrow G_h$ и $G_1=m$.

Например, если имеются посылки: $A \rightarrow B$, $B\&X \rightarrow C$, $C \rightarrow D$ и заключение d=D, то $G^H=\{G_1,G_2,G_3\}$, $G_1=\{D\}$, $G_2=\{C\}$, $G_3=\{B,X\}$, $G_4=\{A\}$. При этом $M^1=\{\neg C \vee D\}$, $M^2=\{\neg B \vee \neg X \vee C\}$, $M^3=\{\neg A \vee B\}$, тогда $C, \neg C \vee D \Rightarrow D$; $B,X, \neg B \vee \neg X \vee C \Rightarrow C$; $A, \neg A \vee B \Rightarrow B$.

Процедура определения предшествующих утверждений. Для определения предшествующих утверждений текущего шага используется специальная процедура v=<M,d,q,g,M_1,m>, в которой $M=\{D_1,D_2,\ldots,D_i,\ldots,D_I\}$ – множество исходных дизъюнктов; $D_i = L^i_1 \vee L^i_2 \vee \ldots \vee L^i_j \vee \ldots \vee L^i_{Ji}$ – дизъюнкт i-й секвенции, состоящий из литералов L^i_j; $d=L_1 \vee L_2 \vee \ldots \vee L_k \vee \ldots \vee L_K$ – дизъюнкт заключения, состоящий из литералов L_k; q – признак окончания вывода, имеющий три значения: “0” – вывод завершен успешно, “1” – вывод завершен не удачно, “G” – требуется продолжение вывода для полученных исходных и выводимых дизъюнктов; g – множество предшествующих утверждений, на основании которых из подмножества исходных посылок $M^1 \subseteq M$ следует заключение d: $g, M^1 \Rightarrow d$; M_1 – новое множество исходных дизъюнктов; m – новое множество выводимых дизъюнктов.

Процедура применима, если $M \neq \varnothing$. J_i, $K \geq 1$ (i=1,...,I). Если указанные условия не выполняются, то принимается q=1, $g=\varnothing$ и производится переход к п. 5. В процедуре выполняются следующие действия.

1. Определяются остатки и предшествующие утверждения.

1) Исходные дизъюнкты делятся [3] на выводимый дизъюнкт: $b_i=D_i \div d$, i=1,...,I. Определяется множество предшествующих утверждений: $g^*=\bigcup_{k \in n} \alpha_k$, где $\alpha_k=\tilde{D}_k \cap \tilde{d}$, (соответственно $\tilde{D}_k$ - множество литералов дизъюнкта D_k, а $\tilde{d}$ – дизъюнкта d), n – множество номеров исходных дизъюнктов, для которых получены остатки, отличные от единицы. Причем, если хотя бы один остаток $b_i=0$, то принимается q=0, $g=g^*$ и производится переход к п. 5, иначе выполняется следующее действие.

2) Исключаются остатки $b_i=1$. Если все остатки равны единице, то вывод не возможен; принимается q=1, $g=\varnothing$ и производится переход к п. 5, иначе выполняется следующее действие.

3) Проверяется наличие фактов. Если фактов нет, то принимается $B_k=b_k$ и выполняется следующий пункт. Иначе остатки b_k делятся на вспомогательный дизъюнкт r [3], составленный из инверсий литералов фактов: $b'_k=b_k \div r$, $k \in n$. Формируются упрощенные остатки: $B_k=b_k$, если $b'_k=1$ и $B_k=b'_k$ – в противном случае. Корректируется множество предшествующих утверждений: $g=g^* \cup \bigcup_{k \in n} \alpha^*_k$, где α^*_k – множество инверсий литералов множества $\alpha'_k=\tilde{b}_k \cap \tilde{r}$ ($\tilde{r}$ – множество литералов дизъюнкта r). Причем, если хотя бы один остаток $B_k=0$, то принимается q=0 и производится переход к п. 5, иначе выполняется следующий пункт.

2. *Перемножаются упрощенные остатки.* Составляется выражение, представляющее собой конъюнкцию остатков $F = \bigwedge_{k \in n} B_k$, которое упрощается путем перемножения дизъюнктов и исключения конъюнкций, содержащих сомножители вида $L\&\neg L$ ($0\&L$). Если встречается произведение контрарной пары ($L\&\neg L$), то литерал L добавляется во множество предшествующих утверждений g. Если преобразуемое выражение оказывается равным нулю (F=0), то вывод успешно завершается. В этом случае принимается q=0, литерал L добавляется во множество предшествующих утверждений g, и осуществляется переход к п. 5. В противном случае выполняется следующий пункт.

3. Формируются новые выводимые дизъюнкты. Формула F представляет собой

дизъюнкцию конъюнкций литералов (дизъюнктивную форму). Эта формула преобразуется в конъюнктивную форму путем инвертирования переменных и замены операций на соответствующие им дуальные: конъюнкции на дизъюнкцию, а дизъюнкции на конъюнкцию.

В результате получается формула $F^*=\bigwedge_{t=1}^{T} d_t$, где d_t – дизъюнкт. Дизъюнкты формулы F^* рассматриваются как новые выводимые дизъюнкты и включаются во множество m: $m=\{d_t,t=1,...,T\}$. Устанавливается значение признака окончания вывода q=G.

4. *Корректируется множество исходных дизъюнктов.* Из множества исходных дизъюнктов исключаются дизъюнкты, имевшие отличные от единицы остатки при делении их на выводимый дизъюнкт: $M_1=M-\{D_k|k\in n\}$. Причем, если $M_1=\varnothing$, то принимается q=1.

5. *Фиксируются результаты выполнения процедуры*. Если признак q=0, то выполнение процедуры завершается успешно, а предшествующие заключению d утверждения содержатся во множестве g. Если признак q=1, то выполнение процедуры завершается неудачно. При q=G множество M_1 содержит новые исходные, а множество m – новые выводимые дизъюнкты, предшествующие заключению d утверждения содержатся во множестве g.

Метод параллельного дедуктивного вывода предшествующих заключению утверждений. Логический вывод утверждений осуществляется в процессе многократного выполнения v-процедур и состоит из ряда шагов. На каждом шаге вывода v-процедуры применяются к имеющимся выводимым и соответствующим им исходным дизъюнктам, образуя новые выводимые и новые исходные дизъюнкты, используемые на следующем шаге. Процесс вывода заканчивается, когда на очередном шаге обнаруживается дизъюнкт, для которого вывод не возможен (q=1), или для всех, выводимых на данном шаге дизъюнктов, будут сформированы признаки успешного завершения вывода (q=0). При этом подмножество фактов M^F включается во множество исходных дизъюнктов M только на первом шаге метода. На всех последующих шагах метода факты не входят во множества исходных дизъюнктов.

Множества утверждений G_h, предшествующих выводу утверждений множества G_{h-1} (h=1,…,H) формируются путем объединения множеств предшествующих утверждений g, получаемых в результате деления дизъюнктов в v-процедурах h-го шага.

Обозначим через Q_h – общий признак окончания вывода (h=1.2,…,H). Для более полного описания метода воспользуемся индексной функцией i(h).

Введем индексную функцию i(h) для индекса размером h, которую определим для индексной переменной t индуктивно следующим образом:

i(1)=t, t=1,...,T;

$i(2)=i(1).t_{i(1)}$, $t_{i(1)}=1,...,T_{i(1)}$

$(t.t_t=1.t_1, t_1=1,\dots,T_1, 2.t_2, t_2=1,\dots,T_2, \dots, T.t_T, t_T=1,\dots,T_T)$;

$i(3)=t.t_t.t_E$ $(E=t.t_t)$, $i(3)=i(2).t_{i(2)}$, $t_{i(2)}=1,...,T_{i(2)}$;

и т.д.

В общем случае: $i(h)=i(h-1).t_{i(h-1)}$, $t_{i(h-1)}=1,...,T_{i(h-1)}$.

Будем считать, что i(0) означает отсутствие индекса у индексируемой переменной, например, $T_{i(0)}=T$, а также, что $i(1)=i(0).t_{i(0)}=t$.

Индексная функция i(h) задает индекс, который (при h>1) состоит из константы, формируемой на основе значения функции i(h-1), и соответствующей этой константе переменной $t_{i(h-1)}$. Множество индексов, описываемых с помощью функции i(h), формируется на основе значений функции i(h-1) и соответствующих им значений переменных $t_{i(h-1)}=1...T_{i(h-1)}$. Например, при T=3, $T_1=3$, $T_2=2$ получим i(1)=t, t=1,2.3; $i(2)=1.t_1$, $t_1=1,2.3$, $2.t_2$, $t_2=1,2$. То есть i(2)=1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2.

Использование индексной функции позволяет описать параллельное выполнение процедур вывода на h-м шаге в следующем виде.

$V_{i(h)}$, $i(h)=i(h-1).t_{i(h-1)}$, $t_{i(h-1)}=1,...,T_{i(h-1)}$.

При этом каждая процедура h-го шага имеет уникальный индекс, который строится на основе индекса породившей ее процедуры предыдущего шага. В индексную функцию i(h)

включаются только те индексные переменные $t_{i(h-1)}$, ($t_{i(h-1)}$=1,...,$T_{i(h-1)}$), для которых заданы (на предыдущем шаге h-1) конечные значения $T_{i(h-1)}$.

Описание метода с использованием индексной функции может быть представлено в следующем виде.

1. Определение начальных значений: $G^0=\varnothing$, h=1, $M_{i(0)}$=M, i(1)=t; t=1,...,T, где T – число выводимых секвенций (число дизъюнктов в выводимой секвенции). Выделение подмножества фактов M^F и составление дизъюнкта r из инверсий литералов фактов.

2. Выполнение процедур вывода.

а) На первом шаге (h=1) для выводимых дизъюнктов множества $m=\{d_1,d_2,\ldots,d_t,\ldots,d_T\}$ выполняются следующие процедуры:

$v_t=<M,d_t,q_t,g_t,M_t^*,m_t>$, t=1,...,T.

При этом на первом шаге вывода из множеств дизъюнктов M_t^*, полученных после выполнения процедур v_t, исключается подмножество фактов M^F: $M_t=M_t^*-M^F$ (t=1,...,T). В результате формируются множества новых исходных дизъюнктов M_t (t=1,...,T) для второго шага вывода. Затем осуществляется переход к п. 3.

б) На втором и последующих шагах (h>1) для выводимых дизъюнктов множеств $m_{i(h-1)}$, полученных в процедурах предыдущего шага, характеризуемых признаками $q_{i(h-1)}$=G выполняются следующие w-процедуры:

$v_{i(h)}=<M_{i(h-1)},d_{i(h)},q_{i(h)},g_{i(h)},M_{i(h)},m_{i(h)}>$,

$i(h)=i(h-1).t_{i\,(h-1)}$; $t_{i(h-1)}$=1,...,$T_{i(h-1)}$.

3. Формирование семейства множеств предшествующих утверждений и проверка признака. Производится формирование семейства множеств предшествующий утверждений G^h и проверка общего признака окончания вывода Q_h h-го шага и переход к следующему шагу или завершение вывода: $G^h=G^{h-1}\cup\{G_h\}$, $G_h=\bigcup_{A=1}^{B} g_{i(h)}$, $Q_h=\bigvee_{A=1}^{B} q_{i(h)}$, где $i(h)=i(h-1).t_{i(h-1)}$, $A=t_{i(h-1)}$, $B=T_{i(h-1)}$.

Если Q_h=G, то h увеличивается на единицу, и процесс продолжается (выполняется п. 2.Б), иначе вывод завершается. Причем, при Q_h=0 вывод завершается успешно, а при Q_h=1 – неудачно.

В случае успешного завершения вывода полученное семейство множеств $G^H=\{G_1,\ldots,G_h,\ldots,G_H\}$ содержит множества утверждений G_h, которые обеспечивают логический вывод утверждений множеств G_h: $G_{h+1},M^h\Rightarrow G_h$ (h=1,…,H, G_1=m).

Пример. В качестве примера логического вывода предшествующих заключению утверждений рассмотрим вывод заключения СП («Публикация статьи») из множества посылок:

1) 1→НР («Аспирантом получен научный результат»);

2) 1→СВ («У аспиранта появилось свободное время»);

3) НР&СВ→СТ (ЕСЛИ «Есть научный результат» И «У аспиранта есть свободное время» ТО «Аспирант пишет статью»);

4) 1→НО («В написанной статье нет ошибок»);

5) СТ&НО→РО (ЕСЛИ «Написана статья» И «В ней нет ошибок» ТО «Руководитель её одобряет к публикации»);

6) РО→ВЖ (ЕСЛИ «Научный руководитель одобрил статью» ТО «Аспирант выбирает журнал для публикации»);

7) 1→ЦА («Цена страницы публикации в журнале меньше 500 рублей»);

8) 1→АТ («Проводится аттестация аспирантов»);

9) 1→НБ («Аспиранту не хватает баллов для успешного прохождения аттестации»);

10) ВЖ&ЦА→ИС (ЕСЛИ «Выбран журнал» и «Цена страницы меньше 500 рублей» ТО «Институт соглашается оплатить статью»);

11) АТ&НБ→НВ (ЕСЛИ «У аспиранта аттестация» И «Не хватает баллов» ТО «Время

публикации ограничено одним месяцем»)

12) НВ&ИС→СП (ЕСЛИ «Время сильно ограничено» И «Институт согласен оплатить статью» ТО «Статья публикуется»).

Представим секвенции посылок в виде дизъюнктов $M=\{D_1,D_2,D_3,D_4,D_5,D_6,D_7,D_8,D_9,D_{10},D_{11},D_{12}\}$: D_1=НР; D_2=СВ; D_3=¬НР∨¬СВ∨СТ; D_4=НО; D_5=¬НО∨РО∨¬СТ; D_6=ВЖ∨¬РО; D_7=ЦА; D_8=АТ; D_9=НБ; D_{10}=¬ВЖ∨ИС∨¬ЦА; D_{11}=¬АТ∨¬НБ∨НВ; D_{12}=¬ИС∨¬НВ∨СП;

1. Определение начальных значений: $G_0=\varnothing$, h=1, $M_{i(0)}=M$, i(1)=t; t=1. Выводимый дизъюнкт d_1=СП. Подмножество фактов $M^F=\{D_1,D_2,D_4,D_7,D_8,D_9\}$. Дизъюнкт, составленный из инверсий литералов фактов r=¬НР∨¬СВ∨¬НО∨¬ЦА∨¬АТ∨¬НБ.

Шаг 1.

1.1. Выполнение процедур вывода. На первом шаге (h=1) для выводимого дизъюнкта множества $m=\{d_1\}$ выполняется следующая процедура: $v_1=<M,d_1,q_1,g_1,M_1^*,m_1>$. В процедуре выполняются следующие действия.

1) Определяются остатки и предшествующие утверждения. Все дизъюнкты исходных посылок делятся на выводимый дизъюнкт: $b_i=D_i\div d_1$, i=1,...,12. При этом $b_{12}=D_{12}\div d_1$=¬ИС∨¬НВ, остальные остатки равны единице. Определяются множества предшествующих утверждений: $\alpha_{12}=\{$¬ИС,¬НВ,СП$\}\cap\{$СП$\}=\{$СП$\}$.

Поскольку нет остатков равных нулю, и есть остатки отличные от единицы, то остатки делятся на вспомогательный дизъюнкт r, составленный из инверсий литералов фактов: $b_{12}\div r=1$. Так как все остатки равны единице, то принимается $B_{12}=b_{12}$ и выполняется следующий пункт.

2) Перемножаются упрощенные остатки. Составляется выражение F=B_{12}=¬ИС∨¬НВ, которое не содержит контрарных пар литералов, поэтому выполняется следующий пункт.

3) Формируются новые выводимые дизъюнкты. Формула F представляет собой дизъюнкцию конъюнкций литералов (дизъюнктивную форму). Эта формула преобразуется в конъюнктивную форму. В результате получается формула F*=ИС∨НВ. Дизъюнкты формулы F* рассматриваются как новые выводимые дизъюнкты $d_{1.1}$=ИС, $d_{1.2}$=НВ, и включаются во множество m_1: $m_1=\{d_{1.1},d_{1.2}\}$. Устанавливается значение признака окончания вывода q_1=G.

4) Корректируется множество исходных дизъюнктов: $M_1^*=M-\{D_{12}\}=\{D_1,D_2,D_3,D_4,D_5,D_6,D_7,D_8,D_9,D_{10},D_{11}\}$. Для формирования нового множества исходных дизъюнктов для второго шага вывода из множества дизъюнктов M_1^* исключается подмножество фактов M^F: $M_1=M_1^*-M^F=\{D_3,D_5,D_6,D_{10},D_{11}\}$.

5) Фиксируются результаты выполнения процедуры: q_1=G, $m_1=\{d_{1.1},d_{1.2}\}$, $M_1=\{D_3,D_5,D_6,D_{10},D_{11}\}$, $g_1=\{$СП$\}$.

1.2. Формирование семейства множеств предшествующих утверждений и проверка признака. Формируется семейство множеств предшествующих утверждений $G^1=G^0\cup\{G_1\}=\{G_1\}$, $G_1=g_1=\{$СП$\}$ и проверяется общий признак окончания вывода первого шага $Q_1=q_1$=G. Поскольку Q_1=G, то выполняется следующий шаг вывода.

Шаг 2.

2.1. Выполнение процедур вывода. На втором шаге для выводимых дизъюнктов множества $m_1=\{d_{1.1},d_{1.2}\}$, полученных в процедуре предыдущего шага, характеризуемой признаком q_1=G, выполняются процедуры: $v_{1.1}=<M_1,d_{1.1},q_{1.1},g_{1.1},M_1,m_{1.1}>$; $v_{1.2}=<M_1,d_{1.2},q_{1.2},g_{1.2},M_1,m_{1.2}>$.

В процедуре $v_{1.1}$ выполняются следующие действия.

1) Определяются остатки: $b_{10}=D_{10}\div d_{1.1}$=¬ВЖ&¬ЦА; Определяются множества предшествующих утверждений: $\alpha_{10}=\{$¬ВЖ,ИС,¬ЦА$\}\cap\{$ИС$\}=\{$ИС$\}$, $g_{1,1}^*=\{$ИС$\}$. Остаток b_{10} делится на вспомогательный дизъюнкт r: $b_{10}\div r$=¬ВЖ. Принимается B_{10}=¬ВЖ, $\alpha'_{10}=\{$¬ЦА$\}$, $g_{1.1}=g_{1.1}^*\cup\alpha_{10}^*=\{$ИС,ЦА$\}$.

2) Перемножаются упрощенные остатки. Составляется выражение F=B_{10}=¬ВЖ, которое не содержит контрарных пар литералов, поэтому выполняется следующий пункт.

3) Формируются новые выводимые дизъюнкты. Формула F представляет собой

дизъюнкцию конъюнкций литералов (дизъюнктивную форму). Эта формула преобразуется в конъюнктивную форму. В результате получается формула F*=ВЖ. Дизъюнкты формулы F* рассматриваются как новые выводимые дизъюнкты $d_{1.1.1}$=ВЖ, и включаются во множество m_1: $m_1=\{d_{1.1.1}\}$. Устанавливается значение признака окончания вывода $q_{1.1}$=G.

4) Корректируется множество исходных дизъюнктов: M_1*=M-$\{D_{10}\}=\{D_3,D_5,D_6,D_{11}\}$.

5) Фиксируются результаты выполнения процедуры: $q_{1.1}$=G, $m_1=\{d_{1.1.1}\}$, $M_1=\{D_3,D_5,D_6,D_{11}\}$, $g_{1.1}=\{$ИС,ЦА$\}$.

В процедуре $v_{1.2}$ выполняются следующие действия.

1) Определяются остатки: $b_{11}=D_{11}\div d_{1.2}=\urcorner$АТ$\vee\urcorner$НБ; Определяются множества предшествующих утверждений: $\alpha_1=\{\urcorner$АТ,$\urcorner$НБ,НВ$\}\cap\{$НВ$\}=\{$НВ$\}$, $g_{1,2}$*=$\{$НВ$\}$. Остаток b_{11} делится на вспомогательный дизъюнкт r: $b_{11}\div r=0$. Принимается B_{11}=0, $\alpha'_{11}=\{\urcorner$АТ$\vee\urcorner$НБ$\}$, $g_{1.2}=g_{1.2}*\cup\alpha_{11}*=\{$НВ,АТ,НБ$\}$.

2) Устанавливается значение признака окончания вывода $q_{1.2}$=0.

2.2. Формирование семейства множеств предшествующих утверждений и проверка признака. Формируется семейство множеств предшествующих утверждений $G^2=G^1\cup\{G_2\}=\{G_1,G_2\}$, $G_2=g_{1.1}\cup g_{1.2}=\{$ИС,ЦА,НВ,АТ,НБ$\}$, $G^2=\{\{$СП$\},\{$ИС,ЦА,НВ,АТ,НБ$\}\}$ и проверяется общий признак окончания вывода второго шага $Q_2=q_{1.1}\cup q_{1.2}$=G. Поскольку Q_2=G, вывод продолжается.

На третьем, четвертом и пятом шагах выполняется по одной процедуре вывода. Выводимые дизъюнкты ($d_{i(h)}$) и результаты выполнения процедур вывода на каждом шаге, а также результаты выполнения каждого шага (G^h – семейства множеств и G_h – множества предшествующих утверждений, Q_h – общие признаки окончания вывода) показаны в таблице 1. В таблице использованы ранее введенные для параметров процедур вывода обозначения: $g_{i(h)}$ − множества предшествующих утверждений, $q_{i(h)}$ − признаки окончания вывода, $M_{i(h)}$ – новые множества исходных дизъюнктов.

Таблица 1 – Процесс логического вывода по шагам

h	$d_{i(h)}$	$g_{i(h)}$, G_h, G^h	$M_{i(h)}$, $q_{i(h)}$, Q_h
1	d_1=СП	$g_1=\{$СП$\}$, $G_1=g_1=\{$СП$\}$, $G^1=\{G_1\}=\{\{$СП$\}\}$	$M_1=\{D_3,D_5,D_6,D_{10},D_{11}\}$, $Q_1=q_1$=G
2	$d_{1.1}$= ИС $d_{1.2}$=НВ	$g_{1.1}=\{$ИС,ЦА$\}$, $g_{1.2}=\{$НВ,АТ,НБ$\}$, $G_2=\{$ИС,ЦА, НВ,АТ,НБ$\}$, $G^2=\{G_1,G_2\}=\{\{$СП$\}$, $\{$ИС,ЦА,НВ,АТ,НБ$\}\}$	$M_{1.1}=\{D_3,D_5,D_6,D_{11}\}$, $M_{1.2}=\{\}$, $Q_2=q_{1.1}\cup q_{1.2}$=0
3	$d_{1.1.1}$=ВЖ	$g_{1.1.1}=\{$ВЖ$\}$, $G_3=g_{1.1.1}=\{$ВЖ$\}$, $G^3=\{G_1,G_2,G_3\}=\{\{$СП$\}$, $\{$ИС,ЦА,НВ,АТ,НБ$\},\{$ВЖ$\}\}$	$M_{1.1.1}=\{D_3,D_5,D_{11}\}$, $Q_3=q_{1.1.1}$=G
4	$d_{1.1.1.1}$=РО	$g_{1.1.1.1}=\{$РО,НО$\}$, $G_4=g_{1.1.1.1}=\{$РО,НО$\}$, $G^4=\{G_1,G_2,G_3,G_4\}=\{\{$СП$\}$, $\{$ИС,ЦА,НВ,АТ,НБ$\},\{$ВЖ$\},\{$РО,НО$\}\}$	$M_{1.1.1.1}=\{D_3,D_{11}\}$, $Q_4=q_{1.1.1.1}$=G
5	$d_{1.1.1.1.1}$=СТ	$g_{1.1.1.1.1}=\{$СТ,СВ,НР$\}$ $G_5=g_{1.1.1.1}=\{$СТ,СВ,НР$\}$, $G^5=\{G_1,G_2,G_3,G_4,G_5\}=\{\{$СП$\}$, $\{$ИС,ЦА,НВ,АТ,НБ$\},\{$ВЖ$\},\{$РО,НО$\}$, $\{$СТ,СВ,НР$\}\}$	$Q_5=q_{1.1.1.1.1}$=0

Таким образом, логический вывод успешно завершается на пятом шаге. Процесс формирования предшествующих заключению утверждений по шагам показан в таблице 2, в которой кроме предшествующих заключению утверждений G_h выделены посылки M^h, обеспечивающие непосредственное следование этих утверждений.

Таблица 2– Формирование предшествующих заключению утверждений

h	M^h	G_h
1	12) НВ&ИС→ СП	$G_1=g_1$=={СП}
2	7) 1→ЦА; 8) 1→АТ; 9) 1→НБ 10) ВЖ&ЦА→ИС; 11)АТ&НБ→НВ	G_2={ИС,ЦА,НВ,АТ,НБ},
3	6) РО →ВЖ	G_3={ВЖ}
4	4) 1→НО; 5) СТ&НО→РО	G_4={РО,НО}
5	1) 1→НР; 2) 1→СВ; 3) НР&СВ→СТ	G_5={СТ,СВ,НР}

Результатом логического вывода является следующее семейство утверждений G^5={{СП},{ИС,ЦА,НВ,АТ,НБ},{ВЖ},{РО,НО},{СТ,СВ,НР}}. Схема процесса вывода представлена на рисунке 1.

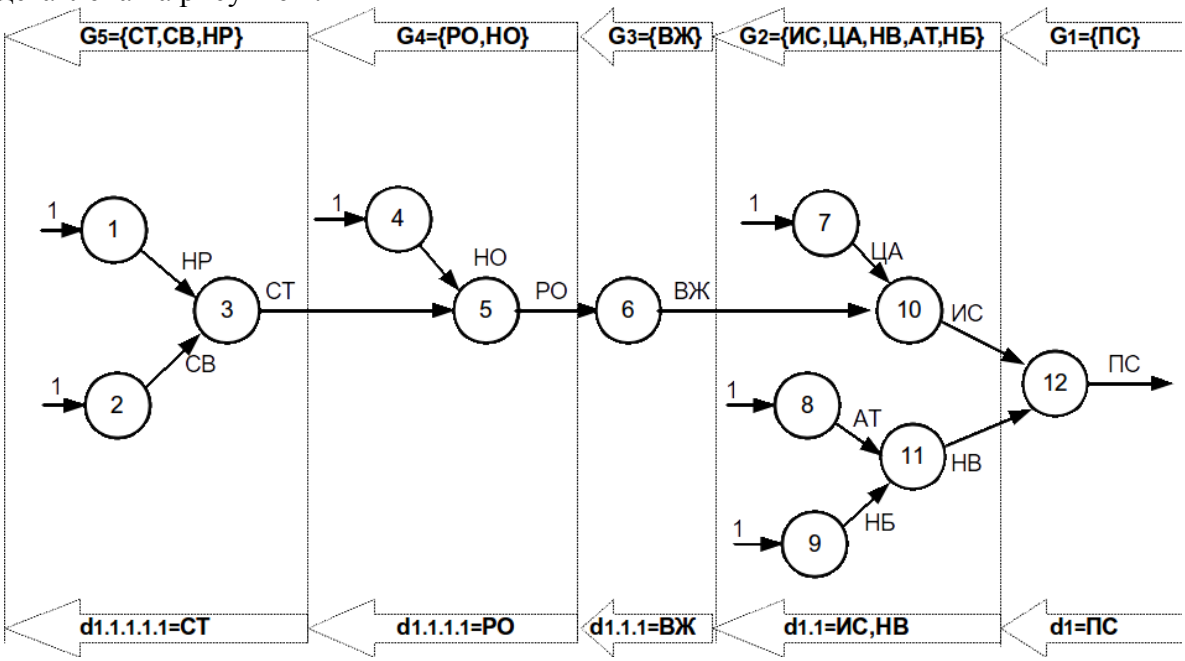


Рис. 1– Схема процесса вывода предшествующих заключению утверждений

Вывод. Разработанный метод дедуктивного вывода предшествующих заключению утверждений решает две актуальные и взаимосвязанные задачи: позволяет параллельно обрабатывать большие базы знаний, используя ресурсы современных вычислительных машин, и при этом формирует дополнительную информацию о выводе в виде множества утверждений, что повышает надёжность логического вывода. Метод имеет следующие достоинства:

1) параллельное выполнение процедур вывода на каждом шаге метода ускоряет логический вывод, а также позволяет выполнять его на современных многоядерных вычислительных системах более эффективно, с точки зрения аппаратных и энергетических затрат;

2) определение множества утверждений, предшествующих заключению, не требует дополнительного времени, так как осуществляется одновременно с самим выводом.

Список литературы

1. *John L. Gustafson.* Reevaluating Amhdahl's Law // Communication of the ACM. 1988. vol. 31, pp. 532-533.

2. *Вожегов Д.В., Долженкова М.Л.* Задача логического прогнозирования развития ситуаций на основе дедуктивного вывода с определением фактов // Фундаментальные исследования. - 2013г. – №1. С. 63-68.

3. *Долженкова М.Л., Страбыкин Д.А.* Дедуктивный вывод заключения с построением схемы логического вывода // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 143–151.

05.13.06

Ю.Д. Волков, П.Н. Кочугаев

Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева,
институт механики и энергетики, кафедра электрификации и автоматизации производства,
Саранск, volkov57@rambler.ru

МОДЕЛИ ЭКСПЕРИМЕНТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В статье рассмотрены задачи и модели эксперимента в условиях неопределенности. В основу моделей положены два подхода: вероятностный и нечеткий. Выбор модели обусловлен наличием знаний о проблемной области, что позволяет оптимизировать процесс эксперимента.

Ключевые слова: *задача эксперимента, неопределенность измерения, модели, вероятность, пространство состояний, нечеткость, FN-числа.*

При проведении эксперимента на ранних стадиях одной из проблем является целенаправленное управление в условиях неопределенности, связанная в частности с точностью измерительных приборов. Растущие требования к точности результатов моделирования удовлетворяются не только за счет создания и применения прецизионных приборов, но и путем использования методов мягких вычислений и измерений.

Неопределенность измерения состоит из двух компонент, названных в [1] неопределенностью категории А и неопределенностью категории В. Если к категории А относят объективные вероятностные оценки ряда измерений, то при поиске компонентов категории В возможно использование субъективных знаний, формализованных с применением теории нечетких множеств. Для заполнения пробела в области структуризованной неопределенности там, где нельзя корректно применять статистические методы, можно использовать теорию нечетких множеств, либо комбинировать нечеткость и вероятность. Рассмотрим модели, построенные в рамках этих подходов.

Возможно, что нам априори известны вероятности гипотез $P(\varepsilon_k)$ из ранее набранной статистики. Знание вероятностей позволяет произвести целенаправленный эксперимент и соответственно уменьшить его стоимость *C*. Неопределенность эксперимента, связанную со случайным характером проведения измерений, воздействием внешней среды и других факторов, отразим в рамках *вероятностной модели* эксперимента.

Сформулируем следующую задачу.

Задача 1. *Пусть относительно объекта исследований выдвинута полная группа из* n*-попарно несовместных гипотез* ε_k *с вероятностями* $P(\varepsilon_k)$*, причем*

$$\sum_k P(\varepsilon_k) = 1,\ k \in \{1,...,n\} \tag{1}$$

Также определено множество допустимых экспериментов $Q = \{q_1 ... q_{n-1}\}$ *по верификации этих гипотез и соответствующие стоимости их проведения* $C = \{c_1 ... c_{n-1}\}$*. Требуется оптимизировать процесс экспериментального подтверждения одной из гипотез* ε_k*.*

Верификацию гипотез ε_k можно вести согласно вероятностной модели активного эксперимента, которая имеет вид

$$G = \{(S, \Sigma, P), \langle F, \circ \rangle, C_F\} \tag{2}$$

где (S, Σ, P)– вероятностное пространство, сконструированное следующим образом. Поставим k-ой гипотезе в соответствие упорядоченную бинарную последовательность $(0, 0, ..., 1, ..., 0)$ пространства E^n, $E_2 = \{0, 1\}$. Тогда $S_0 = ((1, 1, ..., 1), E^n)$ отражает исходную

неопределенность в виде полной группы гипотез $\varepsilon_1,...,\varepsilon_n$ и E^n, как возможное поле действия эксперимента. Принимаем S_0 за начальное состояние эксперимента. Промежуточному состоянию S_j поставим в соответствие вершину n–мерного куба E^n и грань булева куба, которой соответствует набор $(a_1,...,a_n)\in E^n$, $a_k=0$ при отбрасывании гипотезы, $a_k=1$ - в противном. Конечное состояние представлено одним из наборов:

(e_k,e_k), где $e_k=(0,0_2,...,1,...,0)$- "1" на k-месте соответствует принятию ε_k и отклонению остальных гипотез, поэтому пару (e_k,e_k) обозначим просто e_k; (0,0), где 0 = (0,0,….,0) – ни одна из гипотез не подтвердилась.

В результате получим пространство состояний $S\subset E^n\times B(E^n)$, как подмножество множества всех пар вершин n и подпространств в E^n.

Процесс эксперимента связан с подачей управляющих воздействий $\hat{X}_i$ на установку, измерением параметров $\hat{Y}_j$ и результатом обработки информации W_k. Эту совокупность будем считать элементарным экспериментом $q_j=\lfloor X_i\to Y_j\times W_k\rfloor, i\in\{1,...,m\}, j\in\{0,...,h\}, k\in\{1,...,n\}$.

Последовательное выполнение экспериментов $Q=q_0,q_1,...,q_h$ интерпретируется как композиция ∘ отображений $f_j:S_j\to S_{j+1}$. Таким образом, получена алгебраическая система $F=\langle\{f_j\},\circ\rangle$ со свойствами замкнутости, ассоциативности, идемпотентности, необратимости. Система F действует в (S,Σ,P) с соответствующей $\sigma-$*алгеброй* Σ**.** Выбор возможной последовательности будем оценивать функцией качества $C_F:F\to\Re$, а конкретного отображения, как $C(f_j)=c_j$.

В ряде случаев вероятностные характеристики известны, что дает возможность точечной оценки вероятностей гипотез $P(\varepsilon_k)$, рис.1.

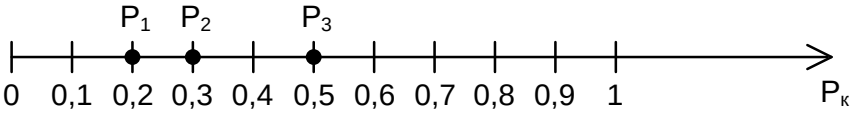


Рис. 1- Точечная оценка вероятностей гипотез $P(\varepsilon_k)$

Поиск в вероятностном пространстве S предпочтителен при решении специфичных задач с S небольшой размерности. Для реализации модели (2) необходимо знание исходного распределения вероятностей $P(\varepsilon_1),P(\varepsilon_2)....P(\varepsilon_n)$. При отсутствии такой оценки на ранних стадиях эксперимента обычно применяют лингвистическую оценку, например: вероятность гипотезы составляет «*около или близко к 0,3*».

Ослабим условия задачи 1 и вместо точечной оценки $P(\varepsilon_1),P(\varepsilon_2)....P(\varepsilon_n)$ введем эмпирическую или теоретическую оценку степени принадлежности вероятности k-гипотезы $\mu(x_k)\in\Phi, k\in\{1,...,n\}$. Отличием модели является то,

что условие несовместности и ограничение (1) может не выполняться.

Задача 2*. Пусть относительно объекта исследований выдвинута группа из* n*- гипотез* $\varepsilon_1,...,\varepsilon_n$ *с функциями принадлежности* $\mu(x_k)\in\Phi, k\in\{1,...,n\}$*. Также определено множество допустимых экспериментов* $Q=\{q_1...q_{n-1}\}$ *по верификации гипотез и соответствующие стоимости их проведения* $C=\{c_1...c_{n-1}\}$*. Требуется оптимизировать процесс экспериментального подтверждения одной из гипотез* ε_k**.**

Для модели обработки измерительной информации, полученной на ранних стадиях эксперимента, мы предлагаем использовать нечеткие FN-числа. Функции принадлежности

$\mu(x_k)$ *FN* -чисел приведены в модифицированном LR-формате, который выбирается из условия минимума отклонения от нормального закона, рис.2.

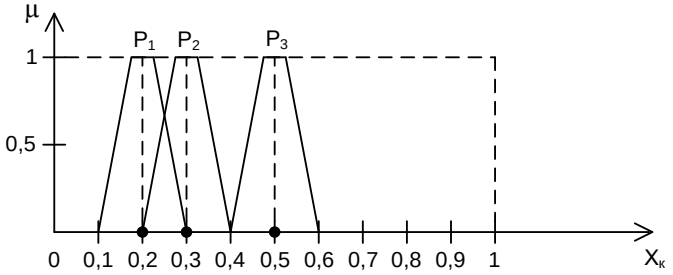


Рис. 2- Нечеткая оценка вероятностей гипотез ε_k

Определение 1. Нечеткие числа, функция принадлежности которых имеет график в форме равнобедренной трапеции, будем называть нечеткими естественными числами (*FN* -числа) и записывать в виде $\tilde{a} = (a, \Delta)$, где a - усредненная оценка значений измеряемой величины, мода *FN* -числа; $\Delta = 3\sigma$, σ - среднеквадратичное отклонение оценки.

При этом операции сложения и умножения введены по правилам [2].

Операция сложения. Имеет место следующее утверждение.

Утверждение. *Операция сложения* $\oplus : \mu_C(z) = \underset{z=x_1+x_2}{Sup}\ Min\{\mu_A(x_1), \mu_B(x_2)\}$ *на множестве FN-чисел определяет структуру коммутативной группы.*

Доказательство приведено в работе [2] и операция $\oplus$ определена в виде:

$$\oplus:\ C = A + B = \big((a_1;\sigma_1) + (a_2;\sigma_2) = (a_1 + a_2;\ \sigma_1 + \sigma_2)\big). \qquad (3)$$

Операция умножения. Если определить правило умножения в виде $\mu_C(z) = \underset{z=x\cdot x_2}{Sup}\ Min\{\mu_A(x_1), \mu_B(x_2)\}$, то эта операция будет незамкнутой на множестве *FN* -чисел. Дополним эту операцию округлением:

$$\otimes : C = A \cdot B = \big((a_1;\sigma_1)\cdot(a_2;\sigma_2) \cong (a_1 \cdot a_2;\ a_1 \cdot \sigma_2 + a_2 \cdot \sigma_1 + \sigma_1 \cdot \sigma_2)\big). \qquad (4)$$

Замечание. Операция сложения полностью совпадает с обычной операцией для нечетких чисел, операция умножения применяется с округлением, чтоупрощает действия над нечеткими числами.

Как известно, операции $(\langle - \rangle, \langle \div \rangle)$ выражаются через операции $(\oplus, \otimes)$ посредством симметрии и инверсии соответственно.

Ввиду неопределенности измерений, начальных и конечных данных элементарному эксперименту поставим в соответствие отображение нечетких множеств $\tilde{q}_j = \left[\tilde{X}_i \to \tilde{Y}_j \times \tilde{W}_k\right]$, что формально означает нечеткий оператор $\tilde{f}_j : S_j \to S_{j+1}$. В этом случае $\tilde{f}_j$ можно связать с нечетким отношением $\tilde{R} : S \times S \to L$ на множестве S. Такое отношение представим взвешенным графом с матрицей отношений, в котором каждая пара вершин (S_j, S_{j+1}) соединяется стрелкой с весом $\tilde{R}(S_j, S_{j+1})$, рис.3.

Элементами нечеткой модели эксперимента являются

$$\Theta_S = \left\{\langle \tilde{F}, \circ\rangle, (S, \Psi, C_F)\right\} \qquad (5)$$

с Ψ - арифметикой *FN* -чисел. Задача сводится к поиску сильнейшего пути $l^*(S_0, S_{kj})$ из S_0 в одно из S_k.

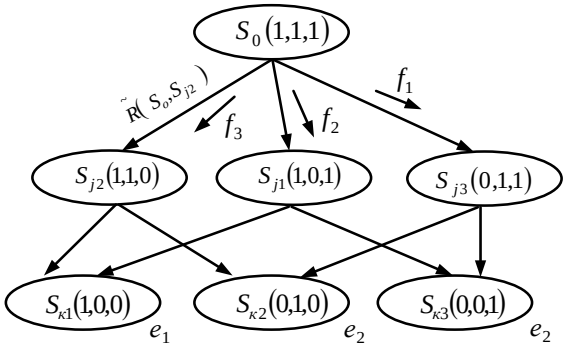


Рис. 3- Нечеткий граф пространства состояний

Модель (5) позволяет по мере набора статистического материала осуществить переход к вероятностной модели. После проведения q_j определяются значения $C(f_j)$ и оценивается направление поиска.

Список литературы

1.Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First Edition. – ISO, Switzerland, 1993. – 101 p.

2.*Волков Ю.Д., Кочугаев* П.Н. Арифметика нечетких *FN* -чисел при обработке результатов измерений./ Инф.-выч. технологии и их приложения». Сб. статей XV Межд. науч.-техн. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2011, с.22-27.

05.07.05

Д.Ф. Гайнутдинова, А.В. Козлова, В.Я. Модорский, Е.В. Мехоношина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Пермский национальный исследовательский политехнический университет" (ПНИПУ),
Центр высокопроизводительных вычислительных систем,
Пермь, d.gaynutdinova@mail.ru, annvikoz@mail.ru, modorsky@mail.ru, enya5591@gmail.com

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВИБРАЦИИ

Проведены вычислительные эксперименты по выявлению кавитационных эффектов при изменении скорости и частоты движения поршня в замкнутой трубе. Получены распределения скорости, давления и концентрации в заданных сечениях конструкции и контрольных точках. Получена кинограмма изменения концентрации воздуха в трубе, заполненной жидкостью, при заданном законе движения поршня.

Ключевые слова: *кавитация, гидродинамика, колебания, вычислительные эксперименты.*

Трехмерная твердотельная модель представляет собой трубу, в которой находится жидкость. В трубе находится поршень, который совершает движение по заданному закону. Закон движения поршня $V = V_0 \sin \omega t$, где V – скорость поршня, V_0 – начальная скорость поршня (амплитуда), ω – частота колебаний, t – время. Исследовано влияние скорости и частоты движения поршня в замкнутой трубе. В ходе вычислительных экспериментов выявляются кавитационные эффекты. Кавитация – это процесс парообразования и последующей конденсации пузырьков воздуха в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных паром. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырёк захлопывается, излучая при этом ударную волну. Кавитация может разрушать поверхность гребных винтов, гидротурбин, акустических излучателей и др. Эта задача может быть отнесена к междисциплинарным исследованиям и решаться на базе унифицированного подхода [1]. В нашей работе решается гидродинамическая задача, а кавитация распознается по градиентам изменения давления в потоке.

Уточнена физическая модель, предложенная в [2]:

1. Поршень является подвижным, труба – неподвижна.
2. Процессы рассматриваются в динамической трехмерной постановке.
3. Поток является многофазным, в качестве первой фазы выступает вода, а второй – воздух.
4. Учитывается взаимное влияние фаз.
5. Принята стандартная k-ε модель турбулентности.

При разработке физической модели были приняты следующие допущения:

1. Расчеты проводились без учета гравитации.
2. Стенки трубы непроницаемые, нетеплопроводные и гладкие (принимается, что все выступы элементов шероховатости лежат внутри вязкого слоя).

В соответствии с принятой физической моделью разработана математическая модель, которая базируется на законах сохранения массы, импульса, энергии, при этом учитывается конвективно-диффузионный перенос смешиваемых компонент, турбулентный характер течения [2].

В качестве метода решения исходной системы дифференциальных уравнений в частных производных применяется численный метод конечных объемов [3,4,5]. В этом методе

дифференциальные уравнения переноса интегрируются по объему каждой *i*-ой ячейки расчетной сетки и по временному шагу *dt*.

Построение сетки в расчетной области относиться к одному из важных моментов численного эксперимента. Для создания расчетной области, моделирующей замкнутую трубу с подвижным в ней поршнем, использовался геометрический препроцессор. Расчетная область разбита на конечные объемы (количество элементов составило 100000 ячеек). В данной области задается граница объема, на которой определены граничные условия и решаются уравнения математической модели (рис.1).

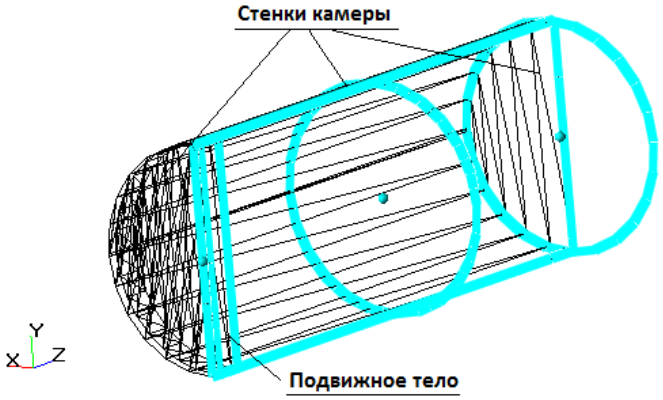


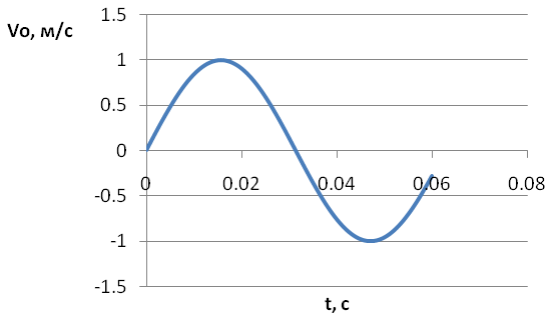
Рис. 1- Граничные условия

Начальные и граничные условия показаны в таблице 1.

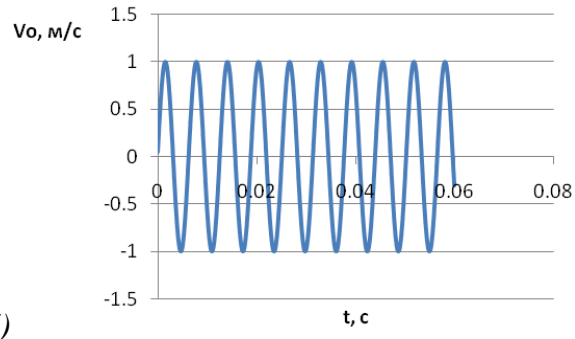
Таблица 1- Начальные и граничные условия

Начальные условия	
Модель турбулентности	k-e модель
Начальные условия	P = 0 атм, V = 0 м/с
Опорные значения	$P_{опорн}$ = 1атм $T_{опорн}$ = 293 К
Граничные условия	
Стенки камеры	Тип ГУ: Стенка
Подвижное тело	Тип ГУ: Стенка Закон движения тела: $V = V_0 \sin \omega t$
Вещество 0 Вещество 1	Вода (плотность 1000 кг/м^3) Воздух (плотность 1,29 кг/м^3)

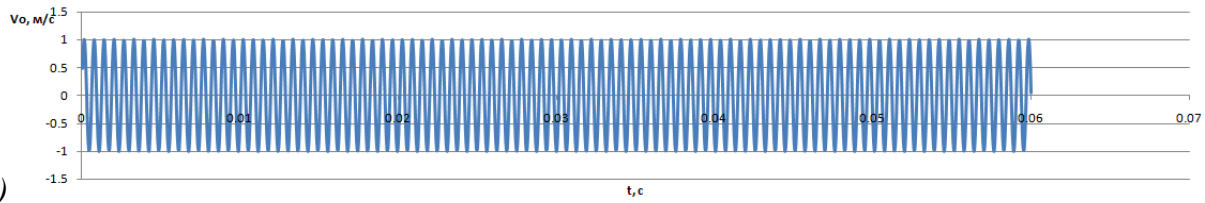
Законы движения поршня, при постоянной амплитуде скорости и различных частотах колебаний поршня представлены на рисунке 2.



а)



б)



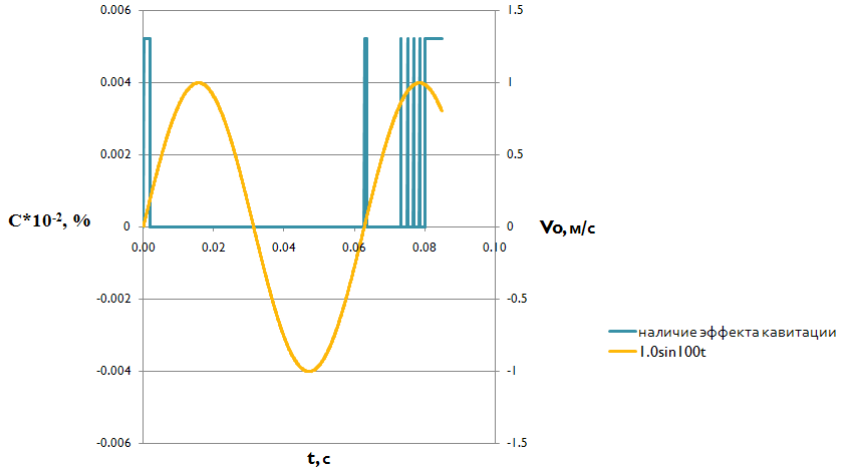
в)

Рис. 2- Закон движения поршня для уравнений:
а – $V = 0.1\sin(100\,t)$, б – $V = 0.1\sin(1000\,t)$, в – $V = 0.1\sin(10000\,t)$

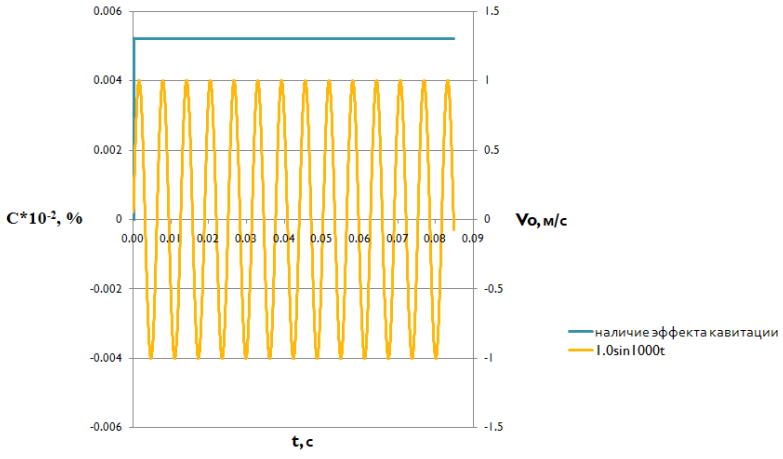
Вычислительные эксперименты проведены на базе Центра высокопроизводительных вычислительных систем ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» в системе инженерного анализа FlowVision.

При проведении численных экспериментов получены следующие результаты.

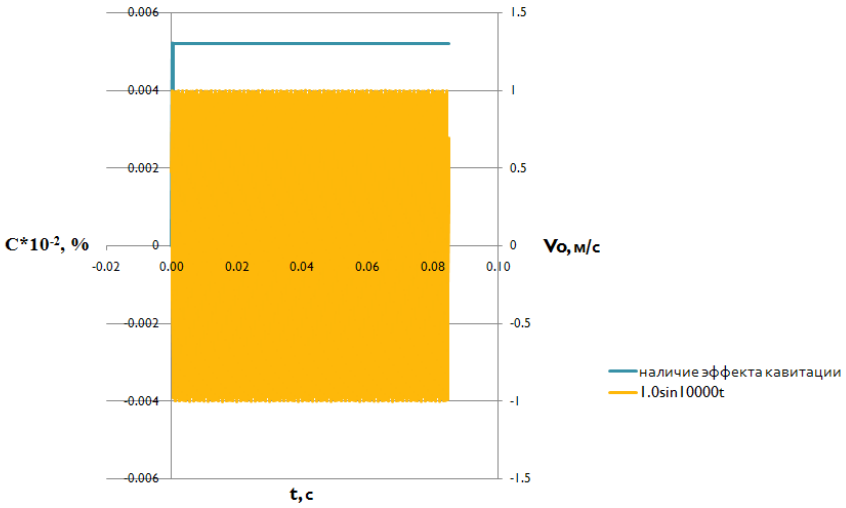
На рисунке 3 представлено изменение массовой концентрации газовой фазы (воздушных пузырей) в долях в расчетной области в зависимости от соответствующего закона движения поршня в замкнутой трубе.



а)



б)



в)

Рис. 3- Изменение массовой концентрации газовой фазы во времени для уравнений: *а* – $V = 1{,}0\sin(100t)$, *б* – $V = 1{,}0\sin(1000t)$, *в* – $V = 1{,}0\sin(10000t)$

На рисунке 4 представлены изоповерхности распределения массовой концентрации газовой фазы (воздушных пузырей) по всей расчетной области в зависимости от характера движения поршня в замкнутой трубе. При этом максимальное значение массовой концентрации газовой фазы составило 0.0052 для всех вариантов закона движения поршня.

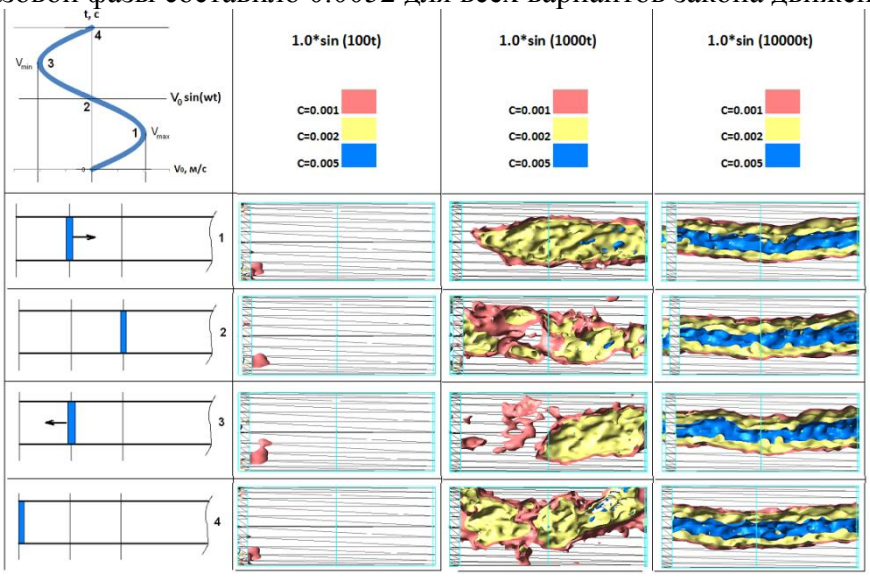


Рис. 4- Изоповерхности распределения массовой концентрации газовой фазы

В результате движения поршня в жидкости происходит местное понижение давления. Возникает эффект кавитации.

Список литературы

1. *В.Я.Модорский, Ю.В.Соколкин* Газоупругие процессы в энергетических установках. / Под. ред. Ю.В.Соколкина.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 176с. – ISBN 978-5-9221-0885-0

2. *Козлова А.В., Модорский В.Я.*Численное моделирование кавитационных эффектов в замкнутой трубе с подвижной стенкой Научно-технический вестник Поволжья. - Казань: НТВП, 2013. - 2: - стр. 132-135. ISSN 2079-5920.

3. *Патанкар С. В.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

4. *Роуч П.* Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.

5. FlowVision. Версия 2.5. Руководство пользователя [Электронный ресурс] / ООО «ТЕСИС». – М., 2012. – URL: http://www.flowvision.ru/ (дата обращения 01.11.2012).

05.02.22

А.В. Гинзбург д.т.н., А.А. Скиба

кафедра Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве,
ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, ginav@mgsu.ru, a.vilinchuk@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ СВЯЗАННЫХ С ФОРМИРОВАНИЕМ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПОЛИТИКИ И РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

В статье описана одна из проблем градостроительной политики, связанная с необходимостью внедрения системы управления развитием территории, которая позволила бы значительно улучшить качество территориального планирования. Для решения данного вопроса предложена методика, основанная на методе нечеткой логики, кратко изложена ее основная идея.

Ключевые слова: *градостроительная политика, метод анализа иерархий, нечеткая логика, территориальное планирование.*

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем градостроительной политики является внедрение системы управления развитием территории, с помощью которой возможно максимальное повышение качества использования застраиваемой городской площади с учётом интересов всех слоев населения.

Основополагающими документами при строительстве любого объекта являются:

- проект планировки территории;
- градостроительные планы земельных участков;
- проекты межевания территории.

Результатом процесса градостроительной деятельности является совершенствование территории с точки зрения пространственной организации, что, в свою очередь, повышает качество жизни у жителей в целом. При этом должны применяться меры по обеспечению района застройки различной инженерной инфраструктурой (социальной, транспортной, производственной, и др.).

Для того что бы решить этот вопрос, встающий перед административными организациями, необходимо разработать методику, в которой учитывались бы такие параметры как:

- закономерности развития территории;
- учет интересов различных слоев общества по использованию территории;
- взаимодействие различных видов деятельности;
- и др.

Как можно заметить – все вышеперечисленные параметры являются качественными (не могут быть точно определены в виде количественных (числовых) значений), что значительно затрудняет их учет при разработке документации (в частности, генерального плана застройки), в которой определяется назначение той или иной территории.

Достаточно сложной задачей является вопрос оптимизации различных параметров, которые необходимо учитывать при разработке градостроительного плана, а также оценка различных возможных вариантов и выбор из них максимально соответствующего потребности не только строительно-инвестиционных компаний, но так же и жителей.

В настоящий момент, несмотря на достаточно бурное изучение различных вопросов, связанных с градостроительством в целом, отсутствует общепринятая методология оценки. Основной задачей является нахождение адекватных оценочных показателей. При условии, что различные качественные параметры, которые крайне необходимо использовать при

решении данного вопроса, имеется возможность каким либо образом оценить, то в сущности вся методология, которую предстоит разработать, сводится к сравнению различных вариантов планирования территории и принятие по итогам проведенного анализа обоснованного решения. От того, насколько удачно будут скомпонованы различные строительные объекты, зависит как коммерческая, так и социальная составляющая.

Принятие решений - это деятельность лица или группы лиц, направленная на поиск лучшей альтернативы в соответствии с предпочтениями в условиях, когда оценка альтернатив производится по многим критериям. Процессы принятия решений традиционно представлены тремя классами задач:

1) выбор лучшей альтернативы;

2) ранжирование альтернатив;

3) классификация альтернатив [1].

В ходе принятия решений при разработке градостроительной документации часто бывают такие ситуации, когда существуют только качественные характеристики, описывающие различные возможные ситуационные варианты из которых нужно сделать однозначный выбор (выбрать лучшую альтернативу). В таких случаях, при прогнозировании предполагаемых результатов возникает проблема анализа взаимосвязанных компонент (ресурсы, желаемые результаты, и т.д.).

Существуют следующие виды задач выбора наилучшей альтернативы:

– структурированные - информация объективна и достоверна, при нахождение лучшей альтернативы используются строгие количественные модели;

– неструктурированные - практически вся информация в виде качественных оценок, субъективна, объективная модель для нахождения лучшей альтернативы отсутствует;

– слабоструктурированные - в зависимости от степени достоверности и объективности информации возможно использование количественных методов, однако это не всегда целесообразно и существует достаточно высокая вероятность необъективной оценки [2].

Практически все задачи в рассматриваемом случае относятся к неструктурированным. Для их решения существует метод, с помощью которого возможна количественная оценка и выбор наилучшей альтернативы - метод анализа иерархий.

Рассмотрим поставленную перед нами задачу как расплывчатое множество в пространстве альтернатив, удовлетворяющих заданным целям и ограничениям. Решением является расплывчатое множество, которое определяется слиянием целей и альтернатив.

Нечеткая цель и ограничение описываются функциями принадлежности и далее, при условии, что нам известно множество альтернатив и нечеткое множество количественных критериев, определяющие цель итогового решения, решение можно представить как нечеткое множество на универсальном множестве альтернатив. Так же представляется выражение и для нечеткого множества ограничений. Нечеткое решение определяется пересечением всех целей и ограничений.

Далее, если цели и ограничения, учитываемые в решении не имеют одинаковой важности, то вводится коэффициент относительной важности, причем, чем меньше коэффициенты относительной важности, тем конечное нечеткое множество становится более растянутым (снижается его роль в принятии решения). Далее необходимо сформировать матрицу парных сравнений.

Затем необходимо структурировать задачу в виде иерархии или сети, после чего устанавливаются приоритеты критериев, по которым впоследствии оценивается каждая из альтернатив и попарно сравниваются элементы задачи, при этом результаты заносятся в матрицу (обратно симметричную). Саати предложил шкалу интенсивности по которой оцениваются элементы матрицы a(i,j), где i - степень важности элемента иерархии, относительно элемента иерархии j. При использовании данной шкалы экспертами сравнивается два объекта на возможность достижения цели и ставятся этому сравнению степени важности (в интервале от 0 до 9) или обратное им значение. Правомерность именно этой шкалы доказана теоретически (проведено сравнение с другими шкалами) [3].

Сравнение элементов построенной иерархии производится в терминах доминирования одного элемента над другим. Полученные результаты выражаются в целых числах. Далее формируем набор локальных приоритетов выражающих относительное влияние множества элементов на элемент примыкающего сверху уровня, используя при этом матрицу парных сравнений. После этого необходимо вычислить множество собственных векторов и нормализовать результат, получая при этом вектор приоритетов. Для того чтобы понять насколько суждения экспертов согласованы используется индекс однородности.

Описанный выше подход удобен при решении задач, связанных с градостроительством, так как в нем отсутствуют трудоемкие вычисления нахождения вектора матрицы, и за счет применения нечеткой логики уменьшается возможная погрешность экспертных оценок. Также, этот метод дает возможность сравнивать и учитывать при выборе того или иного варианта не только количественные параметры, но, что не маловажно и качественные, полученные, как вариант, при взаимодействии с жителями путем проведения социальных вопросов.

На данный момент основной целью является построение грамотной градостроительной стратегии, которая могла бы опираться не только на уже сложившуюся нормативную базу, которая не всегда соответствует динамично развивающейся рыночной экономике, и использует при планировании городских территорий традиционные композиционные приемы. Необходимо выработать такую систему разработки новых градостроительных проектов, которая учитывала бы перспективы социально-экономического развития территорий, что позволило бы соответствовать потребностям не только настоящего времени, но и, по крайней мере, обозримого будущего.

Список литературы

1. *Ярушкина Н.Г.* Основы теории нечетких и гибридных систем: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
2. *Алтунин А.Е., Семухин М.В.* Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. – Тюмень.: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2000.–352 с.
3. *Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю.* Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001.-224 с.
4. *Леоненков А.В*. нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH.-СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 719 с.

05.13.15

[1]П.А. Горбоконенко, [1]Т.А. Деменкова, [2]В.С. Корзинкин, [1]Е.Ф. Певцов

[1]Московский государственный технический университет
радиотехники, электроники и автоматики (МГТУ МИРЭА)
[2]ООО «АиМ-Холдинг»

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ ЦОС НА ОСНОВЕ ПЛИС

Приведен обзор аппаратно-программных средств систем цифровой обработки сигналов на основе современных разработок микропроцессоров и программируемых логических интегральных схем. Приводятся рекомендации, обеспечивающие повышение производительности систем цифровой обработки сигналов за счет замещения систем с микропроцессорных систем на системы с программируемой логикой. Работа выполнена в Центре проектирования интегральных схем, устройств наноэлектроники и микросистем МГТУ МИРЭА.

Ключевые слова: *программируемые логические схемы, микропроцессоры, цифровая обработка сигналов.*

Введение

Современные тенденции проектирования электронных систем широко используют вертикальную интеграцию разработок, предполагающую организацию процесса эффективного многоуровневого проектирования с использованием связанных унифицированных средств системного проектирования, логического проектирования и проектирования систем с программируемой логикой. Развитие этих тенденций позволяет в скором времени ожидать значительного повышения эффективности узлов обработки сигналов и существенного сокращения времени вывода продукции на рынок. Для реализации функций цифровой обработки сигналов (ЦОС) в настоящее время широко используются универсальные процессоры (CPU), специализированные графические и цифровые сигнальные процессоры (DSP), программируемые логические интегральных схемы (ПЛИС), а также комбинации ПЛИС с CPU. Целью настоящей работы является сравнительный анализ современных разработок микропроцессоров и программируемых логических интегральных схем, использующихся для решения широкого круга задач цифровой обработки сигналов.

Микропроцессоры для цифровой обработки сигналов

Хотя современные универсальные процессоры имеют большее быстродействие по сравнению с DSP с фиксированной точкой, однако в приложениях с использованием цифровой обработки сигналов применение DSP дает выигрыш по стоимости и потребляемой мощности, так как универсальным процессорам не хватает специализированных периферийных средств, а также средств обработки сигналов и управления актюаторами.

Одним из главных критериев эффективности, определяющим общее качество создаваемых DSP структур, являются коммуникационные возможности, обеспечиваемые новыми технологиями. На их основе осуществляется системная интеграция DSP структур и обеспечивается возможность масштабирования на принципах мультипроцессорности.

Характеристики некоторых современных типовых DSP-процессоров представлены в таблице 1. Среди высокопроизводительных процессоров с фиксированной точкой можно выделить три основных семейства - BF5xx, Blackfin (производитель – Analog Devices Inc., ADI) [1], MSC81xx и MSC71xx (Freescale) [2] и TMS320C64x (Texas Instruments, TI) [3,4,5].

В общем случае, проекты, в которых используются DSP блоки, можно разделить на три типа по производительности: низкая (менее 300 MMAC), средняя (от 300 до 1000 MMAC), высокая (более 1000 MMAC) [6]. В процессорах, приведенных в таблице 1, применяется архитектура распараллеливания выполнения операций одной инструкции VLIW (Very Long

Instruction Word) и поддерживается одновременное выполнение нескольких MAC-операций в одном цикле.

Таблица 1 - Примеры современных DSP-процессоров.

Производитель / наименование	**Разрядность**	**Применение**	**Аналоги**	**Примечания**
ADI Blackfin [1]	16-бит с фикс. точкой	Авто- и машино-. строение, видеоаппаратура, телекоммуникации	C55x, C64x	Многоядерные микросхемы
ADI TigerSHARC [7]	16- бит с фикс. точкой, 32-бит с плав. точкой	Обработка графических изображений, аппаратура связи	C67x, SHARC, CPUs	Гибкость формата данных, RAM на кристалле
ADI SHARC[7]	32- бит с плав. точкой	Аудиоаппаратура	C67x, CPUs	Многопроцессорные системы
Freescale 563xx [2]	24- бит с фикс. точкой	Аудиоприложения с высокой точностью воспроизведения звука	SHARC, C67x	24- разрядные процессоры широкого применения
Freescale 5685x [2]	16- бит с фикс. точкой	Управление двигателями, цифровые источники питания	C28x	Некоторые серии имеют Flash память на кристалле
Freescale MSC81xx/71xx, MSC8144 [2]		Коммуникационные приложения, IP-телефония	C64x, Blackfin	Многоядерные микросхемы
TI C28x/C24x [3-5]	32- бит с фикс. точкой /16- бит с фикс. точкой	Управление двигателями, цифровые источники питания	DSP5685x, C28x	Некоторые серии имеют Flash память на кристалле
TI C55x [3-5]	16- бит с фикс. точкой	Портативная аудиоаппаратура, потребительская техника	Blackfin	Спец. микросхемы., многоядерные кристаллы

К наиболее распространенным DSP-процессорам с плавающей точкой относятся семейства SHARC и TigerSHARC (ADI) [7], а такжеTMS320C67x (TI). Процессоры ADI обычно используются в многопроцессорных системах с реализацией целых массивов процессоров SHARC для разработок, требующих высокой производительности [1]. Наряду с примерами, приведенными в таблице 1, высокопроизводительные DSP-процессоры с фиксированной точкой выпускаются также рядом других компаний. Как правило, это многоядерные устройства, архитектура которых также содержит массовый параллелизм. Примером отечественной разработки, успешно конкурирующей на мировом рынке с зарубежными аналогами, служат процессоры НПЦ «ЭЛВИС» [8].

DSP-процессоры с плавающей точкой имеют более низкую рабочую частоту, по сравнению с высокопроизводительными DSP-процессорами с фиксированной точкой, при более высокой потребляемой мощности. Преимуществом DSP-процессоров с плавающей точкой является возможность более простого программного обеспечения.

В области цифровых сигнальных процессоров наилучшие результаты сегодня достигнуты фирмой Texas Instruments. Номенклатура семейств сигнальных микропроцессоров и микроконтроллеров этой компании отличается многообразием различного целевого назначения, а ее разработки служат характерной иллюстрацией системного многоуровневого

проектирования. В качестве примера уместно привести семейство TMS320C66xx, которое составляют микропроцессоры, содержащие от одного до восьми ядер [3-5]. Максимальная аппаратурная конфигурация DSP реализована в процессоре TMS320C6678, блок-схема которого представлена на рис.1.

В процессорах этого семейства используются многоядерная программируемая архитектура KeyStone, которая объединяет различные функциональные подсистемы (DSP ядра C66x, подсистему памяти, периферийные компоненты, акселераторы). При разработке KeyStone для максимизации внутрикристальных и межкристальных коммуникаций применено несколько инновационных компонент и технологий, которые позволяют эффективно функционировать всем операционным ресурсам процессора. Системообразующими компонентами являются:

- модуль Multicore Navigator, осуществляющий эффективное управление пересылками данных между компонентами;
- коммуникационная среда TeraNet, посредством которой осуществляются все обмены данными;
- контроллер памяти, обеспечивающий доступ всех ядер к общей встроенной и внешней памяти.

Для выполнения операций обработки чисел с фиксированной запятой ядра C66x содержат операционные блоки, превосходящие возможности ядер предыдущего семейства C64x+ в четыре раза. В дополнение к этому, они содержат операционные блоки обработки чисел в форматах с плавающей запятой, позволяющие выполнять за один цикл восемь MAC-операций (умножение с аккумулированием) над числами одинарной точности. Эти блоки обеспечивают совместимость со стандартом IEEE 754 [9] и позволяют обрабатывать форматы двойной точности и смешанные форматы.

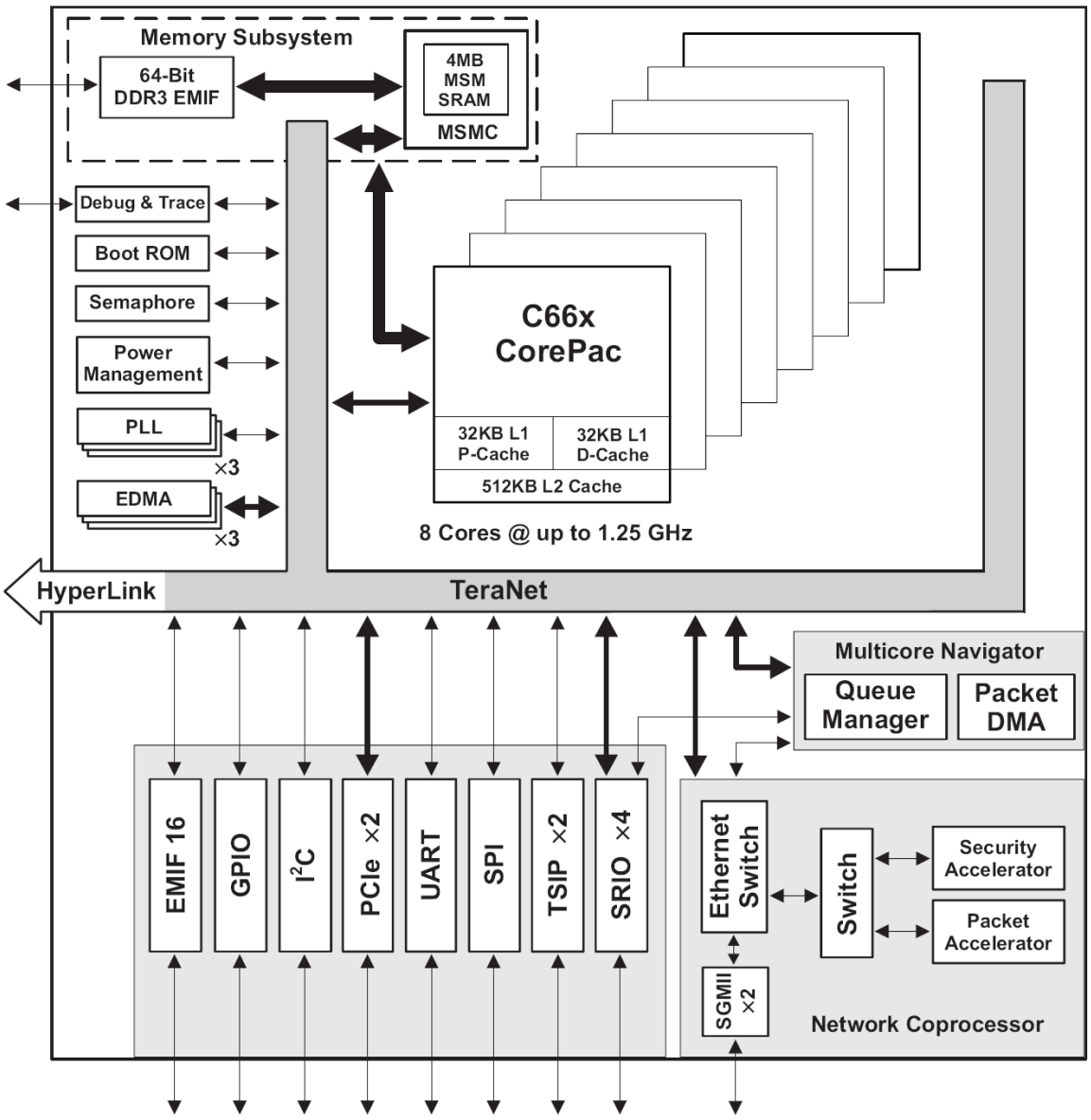


Рис.1 - Архитектура процессора TMS320C6678.

По сравнению с C64x+ система команд C66x расширена на девяносто новых команд, ориентированных на обработку чисел с плавающей запятой и векторных форматов. Суммарная производительность процессоров достигает соответственно для целочисленных форматов и форматов с плавающей запятой 32 MAC/цикл и 16 Флоп/цикл.

Процессоры семейства TMS320C66xx обеспечивают поддержку высокоскоростной внешней памяти класса DDR-3 (64 разряда) работающей на частотах до 1,6 ГГц. Реализуется защита содержимого памяти на принципах технологии ECC (Error Code Correction). Включены контроллеры широко используемых интерфейсов I2C, UART, Telecom Serial Interface Port (TSIP), интерфейс внешней памяти EMIF (SRAM/FLASH, 16-разрядный), множество линий GPIO. Перспективность данного семейства МП обусловлена использованием высокоскоростных коммутируемых последовательных интерфейсов: RapidIO (v. 2), PCI Express Gen2 и Gigabit Ethernet. Для построения многопроцессорных конфигураций и для взаимодействия с ПЛИС может использоваться также высокоскоростной интерфейс HyperLink с пропускной способностью до 50 Гбод. Сетевой сопроцессор обеспечивает передачу до полутора миллионов пакетов в секунду по общему IP адресу для многоядерных версий процессоров.

Таким образом, к основным преимуществам процессоров при решении задач ЦОС следует отнести предельно высокие рабочие частоты и новые технологические решения,

предполагающие расширения системы команд для поддержки мультимедийной обработки, компьютерной графики и собственно сигнальной обработки.

Процессоры семейства TMS320C66xx на сегодняшний день являются самыми высокопроизводительными сигнальными микропроцессорами, объединившими практически все главные архитектурные достижения в области сигнальных процессоров. Множество других разработок ведущих мировых фирм значительно уступают им по производительности – почти на два порядка. Диапазон значений производительности процессоров семейства TMS320C66xx - от 40 до 320 миллиардов операций в секунду, а суммарная производительность восьми DSP-ядер процессора TMS320C6678 составляет 320 миллиардов операций в секунду. Это наилучший показатель для всех выпускаемых процессоров сигнальной обработки. Эти цифры определяют критерии эффективности при разработке систем цифровой обработки сигналов на новых технологиях, в качестве которых сегодня следует указать ПЛИС-технологии.

Схемы с программируемой логикой в системах цифровой обработки

В качестве основных приложений, в которых используются технологии сигнальной обработки, следует указать системы видеонаблюдения, средства телевещания и радиовещания, видеотехника, беспроводные технологии, новые поколения средств медицинской техники, радиолокационная техника, специальные высокопроизводительные вычислительные средства, средства управления электродвигателями.

Практически все фирмы, производящие ПЛИС, активно участвуют в формировании технологического базиса для проектирования средств сигнальной обработки. В настоящее время ведущими фирмами уже создан серьезный задел, позволяющий говорить о доминировании ПЛИС-технологий во многих целевых задачах сигнальной обработки. Следует указать фирмы Altera, Xilinx, Actel, Lattice (Wantis).

В настоящее время тенденциями развития являются вертикальное развитие и вертикальная интеграция, предполагающие организацию процесса эффективного многоуровневого проектирования с использованием связанных унифицированных средств системного проектирования, логического проектирования и ПЛИС-проектирования. Технологический задел при проектировании систем на основе ПЛИС включает три составляющих: 1) собственно аппаратурный DSP-базис ПЛИС компонент; 2) библиотеки мегаядер и сложных функциональных блоков для задач сигнальной обработки (IP-блоки); 3) программные средства, обеспечивающие решение вопросов автоматизации проектирования узлов ЦОС на базе ПЛИС.

Вариант типового маршрута реализации ЦОС в ПЛИС представлен на рис. 2. Возможности использования ПЛИС для решения задач цифровой обработки сигналов обеспечиваются содержащимися в них специализированными аппаратурными блоками - DSP-блоками, реализующими типовые арифметические и логические операции, используемые для сигнальной обработки: умножение, умножение с суммированием, умножение с аккумулированием и функции сдвига.

Рис.2 - Типовой маршрут реализации алгоритмов цифровой обработки на основе ПЛИС.

Функциональная структура типового блока сигнальной обработки DSP48E1 семейства микросхем, выпускаемых фирмой Xilinx, представлена на рис.3 [10]. Ключевыми компонентами блока DSP48E1 являются:

- предсумматор/вычитатель;
- сдвоенный умножитель разрядностью 18x25;
- 48-разрядный аккумулятор;
- арифметико-логическое устройство, с архитектурой «одиночный поток команд и множественный поток данных» (Single Instruction, Multiple Data, SIMD), обеспечивающей выполнение следующих операций: двух 24-разрядных или четырех 12-разрядных операций сложения/вычитания/аккумулирования; логических операций над двумя операндами; операций сдвига (до 17-разрядов); операций преобразования и округления. Арифметико-логическое устройство содержит также дополнительные узлы, обеспечивающие каскадирование для построения сложных конвейерных структур с разрядностью до 96 бит.

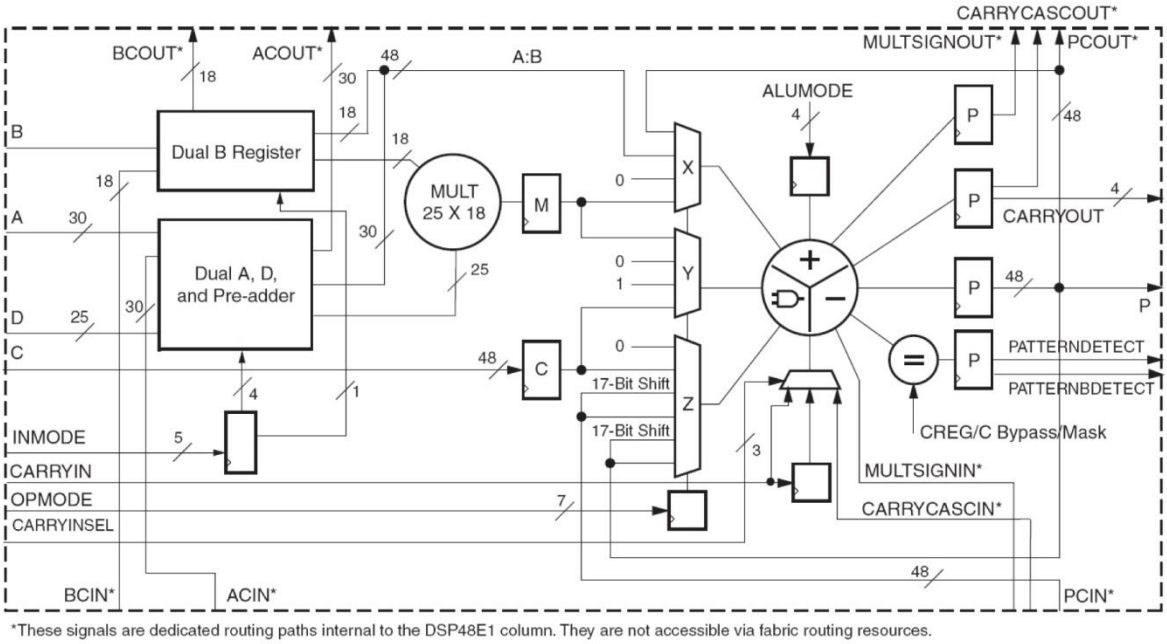


Рис.3 - Функциональная схема типового блока сигнальной обработки DSP48E1 (Xilinx).

При использовании ПЛИС в приложениях ЦОС ключевую роль играют также типовые решения в виде IP-блоков, предназначенных для выполнения процедур сигнальной обработки. Они могут быть реализованы на базе библиотек параметризованных блоков и мегаядер, а также использования специальных модулей, предоставляемых как производителями ПЛИС, так и третьими фирмами.

В качестве примера актуальных библиотек типовых IP-блоков можно привести библиотеки фильтров (filtering), включающие в том числе:

- библиотеки модулей модуляторов/демодуляторов (Modulation / Demodulation);
- библиотеки блоков преобразования (Transforms);
- библиотеки блоков преобразования (Encryption / decryption);
- библиотеки блоков корреляции (Correlation);
- библиотеки блоков обнаружения и коррекции ошибок (Error detection / correction);
- библиотеки компонент видеообработки и обработки изображений (Video and Image Processing – VIP);
- библиотеки арифметических блоков (Arithmetic);
- библиотеки блоков генерации сигналов (Signal generation);
- библиотеки блоков синхронизации (Synchronization).

Использование блоков данных библиотек обеспечивается непосредственно базовыми программными средами ПЛИС производителей (ISE и Vivada фирмы Xilinx, Quartus II фирмы Altera, Diamond фирмы Lattice, Libero фирмы Actel и другими). В дополнение к ним производители САПР ПЛИС предлагают комплекты специализированных модулей, поддерживающих сигнальную обработку (CORE Generator фирмы Xilinx, DSP Builder фирмы Altera), а также средствами системного уровня проектирования (например, System Generator for DSP фирмы Xilinx).

За право считаться универсальным средством системного уровня проектирования в настоящее время претендует интегрированная система MATLAB, предоставляющая пользователям широкий спектр программных средств, позволяющих осуществлять описание, моделирование и поливариантную оптимизацию создаваемых средств сигнальной обработки.

MATLAB имеет развитые программные интерфейсы со специализированными средствами ПЛИС-проектирования указанных фирм и посредством встроенных инструментов Simulink позволяет получать синтезируемые аппаратурные описания (по сути, представляющие собой верифицированные на системном уровне IP-блоки) на языках описания аппаратуры HDL (Hardware Description Language). Эти блоки могут быть использованы для последующего

проектирования и целевой оптимизации средствами систем автоматизированного проектирования (САПР) фирм производителей ПЛИС. Минимизация времени разработки является ключевым фактором в сокращении расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Разработка алгоритма ЦОС может быть выполнена с использованием аппарата языка программирования С или в среде алгоритмической разработки, такой как MATLAB+Simulink.

Процесс трансляции разработанного алгоритма на уровень описания аппаратуры (RTL) для реализации в ПЛИС является, как правило, достаточно трудоемким и компании, специализирующиеся на разработке САПР для СБИС, предлагают на рынке собственные решения, которые автоматизируют процесс конвертации на уровне кодов HDL. В частности, компания Xilinx предлагает инструмент System Generator for DSP, который представляет собой дополнение к Simulink, и автоматически генерирует языковое описание аппаратуры (HDL) с соответствующим уровнем конвейерной обработки для удовлетворения требований по максимальной рабочей частоте и латентности, установленных на системном уровне в среде Simulink. Аналогичные инструменты конвертации имеют пакеты САПР Synopsys, Cadence Design Systems, Agilent Technology и другие.

Средства системного уровня при разработке DSP узлов интегрируют возможности средств MatLab/Simulink фирмы MathWorks. Так при проектировании средствами фирмы Xilinx проекты вводятся в среде Simulink на основе моделей блоков, ориентированных на DSP-базис фирмы Xilinx, моделируются в среде Simulink, и затем синтезируются средствами ПЛИС проектирования. Существенное значение имеют аппаратурные затраты на проекты DSP узлов и обеспечиваемые показатели производительности.

Таким образом, технологии ПЛИС отличаются несравнимой множественностью операционных блоков сигнальной обработки, что способно обеспечить наилучшие показатели производительности на задачах сигнальной обработки. Реконфигурируемость ПЛИС обеспечивает возможность оптимизации проектов устройств цифровой обработки под системную целевую конкретику. Новая позитивная тенденция ПЛИС – использование встроенных процессорных ядер обеспечивает существенное расширение целевого пространства, поскольку автоматически предполагает проектирование широкого множества реконфигурируемых систем на кристалле. Разработав инновационную архитектуру DSP-блоков переменной точности, адаптируемую к требованиям задачи, и предлагая мощные средства разработки с широким спектром IP-ядер ЦОС, производители ПЛИС представляют целостный и структурированный подход к разработке систем цифровой обработки сигналов. Использование качественного и современного «ЦОС-материала» позволяет разработчикам создавать более мощные и эффективные системы, удовлетворяющие как нынешним, так и ожидаемым требованиям.

Заключение

Как правило, выбор базиса для аппаратной платформы обусловливается субъективными факторами, связанными с имеющимися ресурсами, опытом разработчика.

Преимущество DSP заключается в уменьшении времени реализации алгоритмов цифровой обработки, так как их реализация выполняется исключительно в программном виде, и нет необходимости в проектировании аппаратного ускорителя. Однако, объем аппаратного DSP-базиса ПЛИС ведущих мировых фирм (Altera и Xilinx), его параметрические характеристики позволяют утверждать о возрастающем лидерстве ПЛИС-технологий в решении сложных задач обработки сигналов.

Основное преимущество ПЛИС заключается в реализации параллельных вычислений. Максимальное использование данной возможности опирается на развитие программного обеспечения, позволяющего создать аппаратный ускоритель, реализующий алгоритмы цифровой обработки сигналов. Например, программный продукт Xilinx Vivado HLS переводит алгоритм, написанный на языке C/C++, на язык описания аппаратуры (Verilog, VHDL), с учетом особенностей кристалла, на котором планируется аппаратная реализация. В состав этого программного продукта входят инструменты, позволяющие ускорить время

интеграции разработанного блока в общую структуру проектируемой системы, например, в виде готового IP блока. При этом разработчик может контролировать распределение вычислительной нагрузки на каждом такте с использованием графического представления и специальных параметров протоколирования. Обеспечиваемая производительность ПЛИС на задачах сигнальной обработки многократно (на порядки) превосходит производительность, которую могут обеспечить альтернативные решения на перспективных сигнальных процессорах, универсальных процессорах и графических процессорах.

Использование ПЛИС в проектах, не требующих высокой производительности, не представляется целесообразным в первую очередь по критерию стоимости. В проектах требующих средней производительности, выбор зависит от наличия специальных возможностей у DSP, требуемых для конкретной задачи. Например, наличие контроллера дисплея, использование ARM-процессора, а также интерфейсов, обеспечивающих необходимую скорость обмена данными с другими блоками устройства. В случае отсутствия специальных возможностей в DSP, целесообразней становится использование ПЛИС, в связи с тем, что на базе программируемой логики может быть реализовано практически любое цифровое устройство, или уже существует его реализация в виде готового IP-блока. ПЛИС-технологии обеспечивают лучшие показатели производительности в задачах сигнальной обработки. Возможна обработка чисел с плавающей и фиксированной точкой, причем форматы чисел могут адаптироваться под конкретику задач. Узлы обработки могут реализовываться как параллельные структуры, что многократно повышает производительность. Дополнительное достоинство – наличие множества блоков высокоскоростных последовательных интерфейсов, которые могут быть использованы для организации распределенных структур обработки, организации коммуникаций и обмена данными. Таким образом, проекты, требующие высокой производительности, целесообразно выполнять на основе ПЛИС, в связи с оптимальным соотношением цена-качество.

Современный этап развития ПЛИС-технологий характеризуется включением в состав кристаллов ПЛИС серьезных процессорных компонент и перспективных интерфейсных технологий. Это привело к резкому повышению степени интеллектуальности реализуемых на них узлов, которые могут быть интерпретированы уже как системы на кристалле. Применяя ПЛИС, разработчики систем ЦОС имеют в своем распоряжении широкие возможности для решения функционально сложных целевых задач при одновременном уменьшении аппаратурных ресурсов. Другим важным фактором является также легкая адаптация программируемой логики под сложные системные конфигурации.

Функциональные возможности аппаратного DSP-базиса ПЛИС обеспечивают легкую адаптацию под широкое множество прикладных задач и возможность оперативной реализации функционального и параметрического масштабирования конкретных решений для повышения производительности узлов и улучшения показателей надежности без аппаратурных переделок. Улучшение показателей надежности на основе такого реконфигурирования является, в частности, актуальной стратегией для средств космического назначения.

К недостаткам ПЛИС можно отнести сложный маршрут проектирования и неудобство разработки специалистами, имеющими опыт работ с DSP процессорами. Однако компании производители ПЛИС стараются разрешить данную проблему, дорабатывая существующее программное обеспечение и предлагая новые решения.

Список литературы

1. Обзор DSP-процессоров // Электронные компоненты. - 2008. - №3. - С.125-128.
2. MSC8101 User Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cache.freescale.com/files/dsp/doc/user_guide/ /MSC8101UG.pdf (дата обращения 10.08.2013).
3. TMS320C6654 Fixed and Floating-Point Digital Signal Processor Data Manual [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.ti.com/lit/ds/ /symlink/tms320c6654.pdf (дата обращения 22.09.2013).
4. TMS320C6655/57 Fixed and Floating-Point Digital Signal Processor Data Manual [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.ti.com/lit/ds/ /symlink/tms320c6655.pdf (дата обращения 22.09.2013).
5. TMS320C6678 Fixed and Floating-Point Digital Signal Processor Data Manual [Электронный ресурс]:. - Режим доступа: http://www.ti.com/lit/ds/ /symlink/tms320c6678.pdf (дата обращения 22.09.2013).
6. Б.Афра, А.Кападийя DSP или FPGA? Как выбрать нужное устройство // Электроника: Наука, Технология, Бизнес: науч. журн. – 2008. - №8 - С. 54 – 57.
7. ADSP-TS201 TigerSHARC Processor. Hardware Reference [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cs.uiuc.edu/class/cs433ug/ PROCESSORS/ts201_hwr.pdf (дата обращения 02.10.2013).
8. Отечественные микросхемы на базе платформы Мультикор // ГУП НПЦ «ЭЛВИС» URL:http:// multicore.ru (дата обращения 08.10.2013).
9. 754-2008 - IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://ieeexplore.ieee.org (дата обращения 29.09.2013).
10. Series DSP48E1 Slice. User Guide. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:// www.xilinx.com (дата обращения 05.09.2013).

05.13.06

[1]М.А. Гордеев-Бургвиц, [2]А.В. Михайлин, [3]Кнут Хартенштейн, [4]Хайко Киршке

[1]Московский Государственный Строительный Университет,
доцент, кандидат технических наук, кафедра «Электротехники и электропривода»
[2]Московский Государственный Строительный Университет,
кафедра «Водоотведения», michailin@mgsu.ru
[3]Берлинский технический университет, профессор, доктор – инженер,
knut.hartenstein@htw-berlin.de
[4]Университет Баухауз г. Веймар, профессор, доктор – инженер,
haiko.kirschke@bauchaus.de

НАНО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПИТЬЕВЫХ ВОД И ИХ ОБРАБОТКА В ФРГ НА ПРИМЕРЕ ОБЛАСТИ СЕВЕРНАЯ – РЕЙНСКАЯ ФЕСТВАЛИЯ И МОСКВЫ

Статья посвящена способам и средствам, использующим нанотехнологии для измерения качественных параметров питьевых вод в ФРГ на примере области Северная – Рейнская Фествалия и в Москве.

Ключевые слова: *нано технологии, качественные параметры питьевой воды, автоматические измерения.*

Статья посвящена 80-летнему юбилею кафедры «Электротехники и электропривода» и 92-му юбилею МГСУ-МИСИ и в ней содержатся некоторые результаты совместных исследований кафедр «Электротехники и электропривода» и «Водотведения» МГСУ [1,2,3] и немецких профессоров из Берлинского университета и Веймарского университета Баухауз в области автоматизации систем водоподготовки и водоотведения на примере использования нано технологических способов и средств для измерения качественных параметров питьевых вод и их мониторинга в АСУ ТП водоснабжения, причем результаты исследований даются на примере 2-х стран: ФРГ и России.

Внимание правительства России к научным исследованиям МГСУ-МИСИ в виде посещения Университета президентом России В.В. Путиным в августе 2011г., подчеркивает важность проводимых исследований кафедр Университета.

Исследования показывают, что системы водоподготовки и водоотведения ФРГ и России находятся в несколько разных начальных условиях, т.к. фактически по стандартам и ГОСТам обоих стран имеются одинаковые предписания и порядок содержания и эксплуатации систем водоподготовки и водоотведение. Однако, если в ФРГ эти предписания выдерживаются и соблюдаются в полной и максимальной мере, то в России наблюдается повсеместное пренебрежение к этим предписаниям.

В связи с этим, создание действенных систем за автоматическим, непрерывным и бесперебойным контролем качественных параметров воды и их мониторинга в АСУ ТП водоснабжения и водоотведения является архиважной задачей.

В конце 2009 года Мосводоканалом введены в эксплуатацию 7 автоматизированных станций мониторинга, которые входят в АСУ ТП водоснабжения Москвы, общая структурная схема которой описана в /1,2,3/. Станции мониторинга представляют собой полностью автоматические лаборатории анализа качества, использующие способы нано технологий, которые обеспечивают оперативной информацией о водоисточнике. Установленные на станциях приборы, в том числе и использующие нано технологии, позволяют контролировать 10 основных показателей качества природной воды: мутность, цветность, аммиак, фосфаты, железо, pH, растворенный кислород, электропроводность,

хлориды и температуру. В основу приборов заложены способы измерений на основе нано технологий, включающие оптические и электрохимические методы измерения. Система мониторинга источников водоснабжения Москвы базируется на пунктах наблюдений, расположенных в наиболее характерных створах. Лаборатории Мосводоканала ежесуточно производят до 4 тыс. определений физико-химических показателей на основе нано технологий, 400 – бактериологических и 300 – гидробиологических анализов. Анализ основных параметров воды осуществляется автоматическими анализаторами в постоянном режиме на водозаборах водопроводных станций, по этапам очистки и в узловых точках городской распределительной сети и обрабатываются АСУ ТП водообработки и далее с помощью локальных САР воздействуют на процесс обработки воды.

В системе водоснабжения области Северная – Рейнская Фествалия ФРГ работает более 250 автоматических анализаторов качества воды.

В основе работы анализаторов лежат физико-химические методы анализа. Для анализа основных параметров воды в постоянном режиме на водозаборах водопроводных станций, по этапам очистки используют следующие анализаторы: **Анализаторы остаточного алюминия.** Для определения остаточного алюминия используют анализаторы фирмы Seres 2000 с диапазоном измерения 0.1-1.0 мг/л. Принцип измерения на данном анализаторе основан на развитии в измерительной камере окрашивания пропорционального концентрации содержащегося в образце изучаемого элемента, и измерении интенсивности данного окрашивания. Для этой цели мы имеем с одной стороны, камеру с окнами, излучающий диод, и с другой стороны, фоточувствительную ячейку.

Для появления окрашивания, в камеру необходимо добавить реактив и смешать его с образцом. Подача реактивов осуществляется по заранее запрограммированному алгоритму для соблюдения точности прохождения методики анализа. В определенный момент происходит запоминание уровня напряжения в ячейке для компенсации мутности и степени окраски вещества. Полноценная реакция в ячейке происходит при строго определенном уровне pH. Для достижения этого уровня впрыскивается буферный раствор для стабильности pH. Если показатель pH неправильный, окрашивания не происходит. Когда введены все реактивы, окрашивание происходит более или менее быстро в соответствии с типом измерения и продолжается практически неопределенное количество времени. **Анализаторы остаточного хлора.** Для определения остаточного хлора используют анализаторы фирмы DKK тип CD-36D, Endress&Hauser тип Liquisys-M (Pool Pac CCM35), Wallace & Tiernan тип Depolox-4, Wallace & Tiernan тип Depolox-3+ и анализатор Wallace & Tiernan тип Micro 2000. В анализаторах MICRO 2000 и Depolox-4 используется трех электронная схема измерения с открытыми электродами. В Depolox-3+ используется закрытый рабочий электрод, погруженный в электролит для стабилизации pH и обмен ионов происходит на границе двух сред. Для примера рассмотрим анализатор остаточного уровня MFA-MICRO 2000, который состоит из измерительного элемента с системой подачи реагента и многофункционального анализатора (MFA), модуля электронного микропроцессора.

Измерительный элемент Micro 2000 требует расход пробы 0,5 л/мин. Большая часть пробы сбрасывается в сток и лишь небольшой объем пропускается через перистальтический насос. Перистальтический насос обеспечивает подачу достаточного объема пробы воды в измерительный элемент, где происходит измерение остаточного содержания хлора. Для нейтрализации pH и/или измерения общего остаточного содержания хлора насос также подает жидкие реагенты в отмеренных дозах в пробы. По мере прохождения через измерительный элемент проба воды вступает в контакт с тремя электродами, среди которых платиновый измерительный электрод, второй платиновый счетный электрод, серебряный/хлорида серебра деферентный электрод. Стабилизатор напряжения в электронном модуле MFA непрерывно сравнивает потенциал измерительного электрода с потенциалом электрода из серебра/хлорида серебра. При изменении уровня хлора в пробе воды происходит соответствующее изменение тока в цепи пропорционально концентрации хлора в пробе. После измерения тока микропроцессор выводит на дисплей измеренную

величину остаточного уровня в мг/л. Автоматическая температурная компенсация является стандартной характеристикой MFA Micro 2000. **Анализаторы мутности.** Для определения мутности используют анализаторы SERES тип Turbilight с диапазоном измерения 0.1-5 мг/л. Мутность измеряют, направляя горизонтально излучаемый диодом световой луч. Свет, рассеянный под углом 90 градусов частицами, находящимися в суспензии, обнаруживается элементом измерения. Количество света пропорционально мутности пробы. Установленный напротив источника света элемент предназначен для компенсации старения светоизлучающего диода и загрязнения кюветы. **Анализаторы цветности.** Для определения цветности используют анализаторы Seres 1000 и Seres 2000 с диапазоном измерения 3-50 град. Используется однотипная схема обработки данных, рассмотренная в анализаторе алюминия. В процессор вводится алгоритм проведенного анализа, диапазон измерений, графики вводятся в память процессора (линейные, нелинейные), пользовательское меню доступное для проведения работ калибровки, настройки, контроля параметров, включение/выключение функций. При анализе цветности не используются реактивы. Определяется напрямую. Длина волны источника света 380 нм при использовании хром-кобальтовой шкалы**. Анализаторы щелочности и аммония.** Для определения щелочности и аммония используют анализаторы Seres 1000; диапазон измерения щелочности - 0.8-5 мг экв/л, аммония - 0-2 мг/л. Определение происходит путем титрования раствора. Первоначально в ячейку измерения вводится индикаторный раствор, который создает окраску определенной интенсивности. Далее вводится титрующий раствор. Время титрования пропорционально объему введенного раствора. Система фиксирует сколько времени было затрачено и пересчитывает в концентрацию вещества соответствующего объему, истраченному титрующему раствору. **Анализаторы pH.** Для определения pH используют анализаторы Endress&Hauser тип CPM-221 CPA-250 с диапазоном измерения 0-14. Величина pH служит единицей измерения кислотности или щелочности жидких сред. Стеклянная мембрана электрода подводит электрохимический потенциал, зависящий от величины pH среды. Преобразователь преобразует измеряемое напряжение в соответствующую величину pH, используя уравнение Нернста. **Анализаторы озона в воде.** Для определения озона в воде используют анализаторы Wallace & Tiernan тип Depolox-4 с диапазоном измерения 0-2 мг/л. Принцип работы анализатора аналогичен анализатору хлора.

Список литературы

1. *Гордеев-Бургвиц М.А*. Автоматизация управления процессом сорбционной очистки сточных вод. Известия Вузов серия «Строительство» №6, 2007., стр.82 – 86.
2. *Гордеев-Бургвиц М.А.* Управление установкой сорбционной очистки вод в насыпных фильтрах. Известия Вузов серия «Строительство» №7, 2008., стр. 350 – 353.
3. *Попкович Г.С., Гордеев М.А.* Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. М. Высшая школа, 1986.

05.11.16

М.В. Грушичева

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
кафедра ПР-2 «Метрология, сертификация и диагностика», Москва, gru2@list.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛИНЫ ПРИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению степени влияния притертых мер длины на результаты калибровки микропроцессорных датчиков линейных перемещений.

Ключевые слова: *калибровка, средства измерения, концевые меры длины.*

В настоящее время на базе Московского государственного университета приборостроения и информатики проводится разработка модульной информационно-измерительной системы для измерений профиля тел вращений со сложной формой. Особенностями системы является возможность ее применения не только в условиях метрологической лаборатории, но и в условиях механообрабатывающего цеха. Основой модульной системы являются прецизионные датчики линейных перемещений, на базе линейных дифференциальных трансформаторов (LVDT). Выбор линейных дифференциальных трансформаторов обуславливается их высоким уровнем пыле-, влагозащиты, устойчивостью к вибрациям и электромагнитным воздействиям, малым гистерезисом. Метрологические характеристики модульной системы обеспечивается ее периодической калибровкой, и обязательной индивидуальной калибровкой всех входящих в ее состав датчиков. В рамках создания модульной информационно-измерительной системы был разработан опытный образец микропроцессорного датчика линейных перемещений на базе LVDT, рисунок 1. В опытный образец микропроцессорного трансформаторного датчика линейных перемещений вошли: LVDT GT5000 фирмы RDR GROUP и специально разработанный универсальный электронный блок, который позволяет без перенастройки подключать и проводить калибровку любого датчика LVDT выбранной фирмы (серии GT, ACT, D5, D6, DCTH, LDC, D5W, DCW, ACW, SSA и пр.) или их аналогов, что позволяет решить большинство практических задач [1].

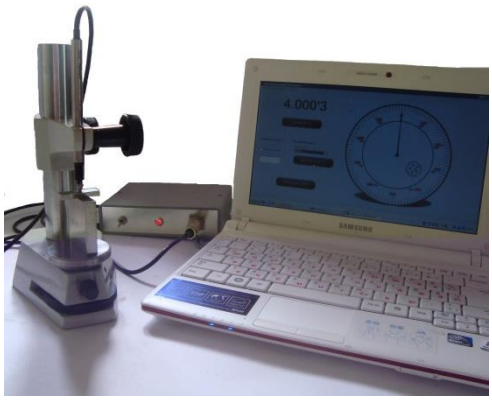


Рис. 1 – Экспериментальная установка микропроцессорного трансформаторного датчика линейных перемещений

Для компенсации систематической составляющей погрешности проводится индивидуальная калибровка датчика линейных перемещений. Методики калибровки прецизионных датчиков линейных перемещений, являются предметом коммерческой тайны

и представляют собой закрытую информацию. По этому в рамках разработки модульной системы была поставлена и решена задача разработки рекомендаций к методике проведения калибровки прецизионных микропроцессорных трансформаторных датчиков линейных перемещений. При решении данной задачи использовались материалы нормативных документов: МП 2411/0021-2007, МИ 782-85 и МИ 2192-92.

При разработки рассматривались различные факторы влияющие на результаты проведения калибровки: расположение концевой меры при ее измерении, базирование первичного преобразователя и пр. Одними из наиболее интересных представляются исследования о целесообразности применения притертых концевых мер длины при калибровке датчика.

С целью определения влияния применения притертых мер длины при проведении калибровки, были произведены экспериментальные исследования состоящие из: трех серий опытов, проводимых тремя независимыми экспертами на базе метрологических лабораторий МГУПИ, ГИДРОМАШ и МЭЗ1. В экспериментальных исследованиях полностью имитировалась процедура калибровки датчика линейных перемещений вначале посредством цельных мер длины, далее по притертым мерам длины. При проведении экспериментальных исследований использовался опытный образец трансформаторного датчика линейных перемещений с LVDT GT5000 фирмы RDR GROUP с диапазоном измерений 10мм. Для каждого случая после проведения калибровки определялась абсолютная погрешность датчика на всем диапазоне его измерений. Для снижения вероятности «выбросов» для каждого случая калибровки проводилось определения погрешности на всем диапазоне не менее 10 раз каждым оператором. Все измерения проводились в соответствии с ГОСТ 8.303-80. При проведении исследований каждым оператором использовался один набор концевых мер 1–Н1 ГОСТ 9038-90. Для исключения несоответствия концевых мер длины ГОСТ 9038-90, проводился внешний осмотр. В качестве составной меры использовалось не более двух концевых мер длины, при проведении исследований каждым оператором применялось не более одного набора концевых мер длины по 1–Н1 ГОСТ 9038-90, следовательно, измерения составных концевых мер длины с номиналом до 1 мм не проводилось.

По результатам проведенных опытов была получена матрица значений измерения, сформирована матрица погрешностей для каждого измерения. Диапазон полученных отклонений был разделен на равные интервалы. Для каждого интервала было подсчитано количество значений (m_i), приходящихся на него. Найдена частота попадания в диапазон значений данного ряда (p^*_i) как отношение общего количества значений к общему количеству измерений (n).

$$p^*_i = \frac{m_i}{n}$$

По полученным матрицам были построены статистические ряды количества измерений в заданном интервале (рисунок 2), а также найдены числовые характеристики статистического распределения.

На графиках представленных на рисунке 2 хорошо видно, что распределение частоты попаданий погрешности приближенно к нормальному закону распределения с математическим ожиданием в диапазоне от -0,5 до +0,5 мкм. При этом для составных мер длины характерно увеличение частоты попадания погрешности в диапазон от 1,5 до 4,0 мкм.

Все опыты проводились в одинаковых условиях, поэтому для упрощения дальнейшей обработки и обобщения результатов, экспериментальные данные были объединены в группы цельных и составных мер (рисунок 3,4).

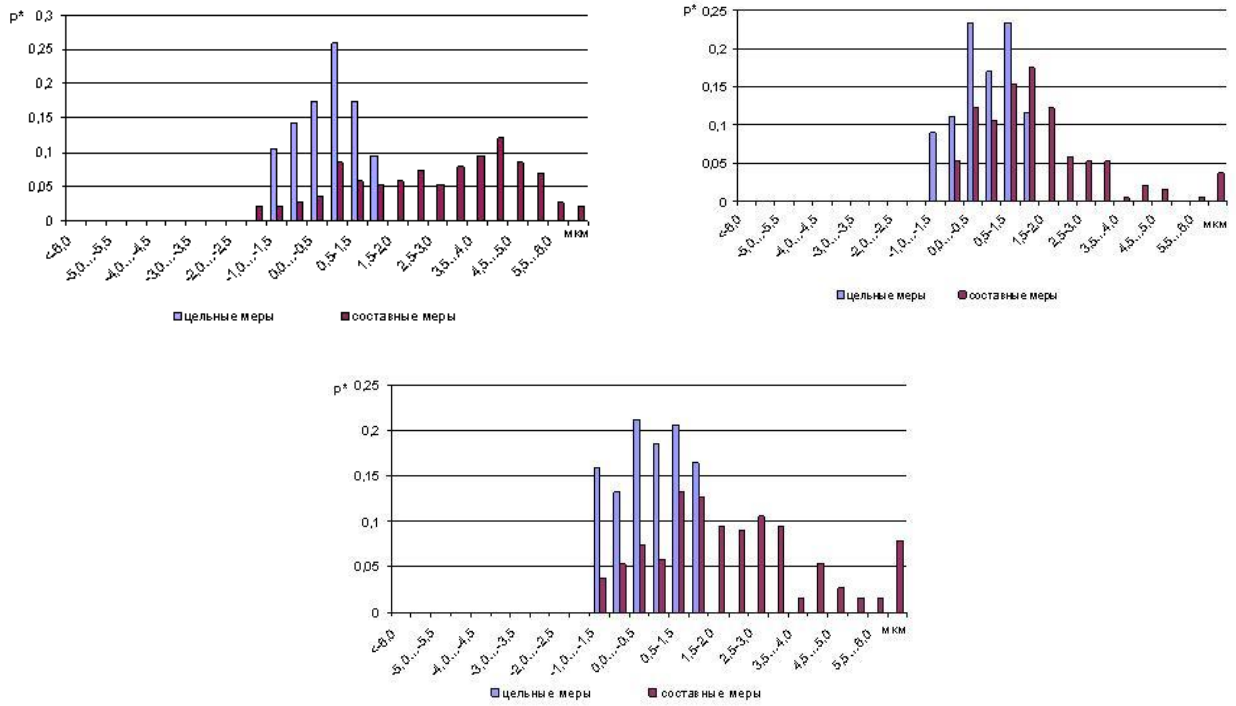


Рис.2 – Графики распределения отклонений

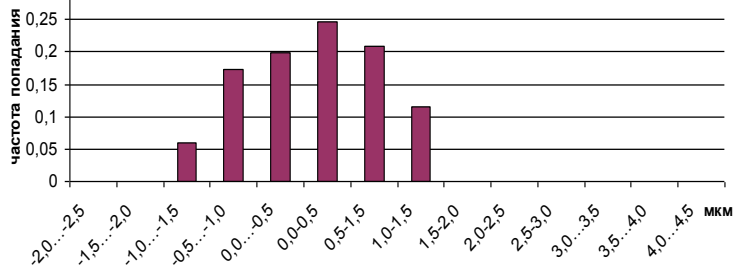


Рис.3 – График распределения отклонений по интервалам для всех проведенных опытов с цельными мерами длины

Рис.4 – График распределения отклонений по интервалам для всех проведенных опытов с составными мерами длины

На представленных графиках кривых распределения составных и цельных мер длины наглядно показано, что в случае проведения калибровки с применением составных мер длины частота ошибочного измерения возрастает. Это говорит о случайном характере притираемости составных мер длины, способствующей не корректной калибровки.

Список литературы

1. *Грушичева М.В.* Микропроцессорный датчик линейных перемещений на базе линейного дифференциального трансформатора // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: Труды XVIII Международного семинара. Тез. докл. – М.:МИРЭА, 2009. – с. 235.

05.11.16

М.В. Грушичева

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
кафедра ПР-2 «Метрология, сертификация и диагностика», Москва, gru2@list.ru

РАЗРАБОТКА УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ДАТЧИКОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА БАЗЕ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В работе приведены результаты исследований о влиянии материала узла креплений на микропроцессорный датчик линейных перемещений на базе линейного дифференциального трансформатора.

Ключевые слова: *крепежные элементы, средства измерения, LVDT.*

В настоящее время на базе МГУПИ проводится разработка модульной информационно-измерительной системы, которая предназначена для эксплуатации: как в нормальных условиях, так и в условиях механообрабатывающего цеха. В разрабатываемую модульную систему входят: прецизионные датчики угла поворота, линейных перемещений, температуры и пр., так же программно-управляемые поворотные столы, модули и блоки крепления элементов конструкций, ХОСТ, программное обеспечение и т.д. Номенклатура и количество датчиков, их расположение, может изменяться в соответствии с нуждами конкретного производства. При разработки системы была решена задача обеспечения возможности сборки нескольких датчиков линейных перемещений для одновременного измерения нескольких профилей. С этой целью был разработан универсальный узел креплений для датчиков линейных перемещений, в котором учитывались необходимые геометрические параметры изделия, и возможное электромагнитное воздействие на датчик линейных перемещений. В системе применяются датчики линейных перемещений на базе линейных дифференциальных трансформаторов (LVDT), выбор которых обуславливается высокой степенью пыле-, влагозащиты, устойчивостью к вибрациям и электромагнитным воздействиям, малым гистерезисом. Фирмы-производители постоянно совершенствуют материалы для защиты LVDT от внешних электромагнитных помех [1], поэтому экранирующее покрытие у различных фирм-производителей имеет различные технические характеристики и является предметом коммерческой тайны. Это в значительной мере затрудняет создание полноценной модели LVDT, а также теоретический расчет влияния материала узла крепления. С целью определения оптимального материала узла крепления для трансформаторных датчиков были проведены экспериментальные исследования, в которых использовался разработанный ранее опытный образец микропроцессорного датчика линейных перемещений на базе LVDT, рисунок 1, в который вошли: LVDT GT5000 фирмы RDR GROUP и специально разработанный универсальный электронный блок, который позволяет без перенастройки подключать и проводить калибровку любого датчика LVDT выбранной фирмы (серии GT, ACT, D5, D6, DCTH, LDC, D5W, DCW, ACW, SSA и пр.) или аналога [2].

Для проведения исследования был спроектирован и изготовлен макетный образец узла крепления, состоящий из универсальной части, выполненной из нержавеющей стали 40Х; и вставленной в нее втулки, материал исполнения которой может меняться. Были изготовлены пять макетных образцов из меди М1р, титана ВТ1-0, нержавеющей стали 12Х18Н10Т, стали Ст3 и пластмассы РА 6.

Универсальная часть представляет собой Г-образный модуль с отверстиями для крепления к стандартной стойке (ГОСТ 10197-70). Особое внимание было уделено недопустимости излишнего натяга при установке корпуса LVDT. Крепление имеет диаметр 8 мм с допуском Н6 даже при максимальном натяге крепежного винта. Внешний вид спроектированного узла

крепления представлен на рисунке 2. Смещенный относительно оси преобразователя с постоянным зазором винт крепления позволяет избежать деформации при сдавливании. Конструкция узла крепления позволяет устанавливать дополнительные крепежные элементы.

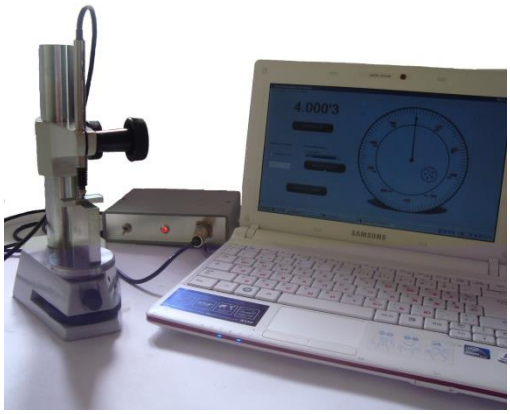


Рис. 1 – Экспериментальная установка микропроцессорного трансформаторного датчика линейных перемещений

Рис.2 – Узел парного крепления LVDT датчиков и внешний вид втулок.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с ГОСТ 8.303-80. Датчик линейных перемещений базировался в узле креплений с выбранным материалом втулки, и проводилось фиксирование его показаний. Для устранения влияния величины «поджима» измерительного наконечника при проведении опытов, базирование LVDT осуществлялось таким образом, чтобы измерительный шток датчика находился в свободном положении.

Данные с датчика фиксировались в точках, соответствующих положению внутренних катушек LVDT относительно узла крепления. Первое значение соответствует положению, при котором линейный дифференциальный трансформатор не соприкасается с узлом крепления. При втором значении первичный преобразователь зафиксирован в узле крепления в крайнем нижнем положении. Последующие показания соответствуют перемещению LVDT относительно образца узла крепления. Аналогично снимаются характеристики для всех вариантов исполнения узла крепления. Полученные графики изменения погрешности измерений при варьировании положения и материала втулки представлены на рисунке 3.

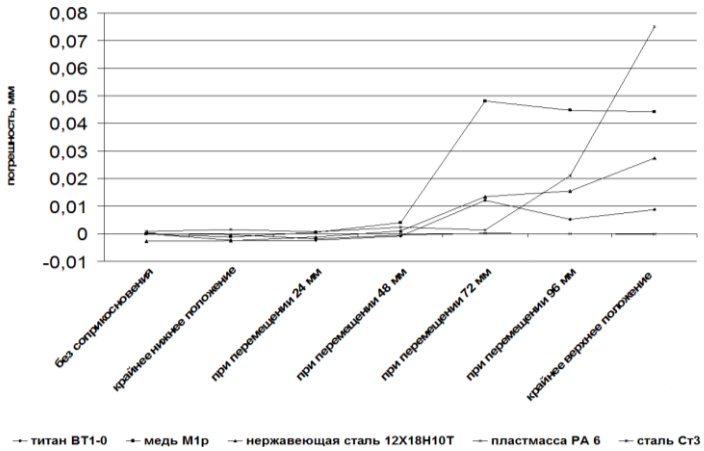


Рис.3 – Флуктуация погрешности в зависимости от материала узла крепления и положения LVDT

При повышении магнитной проницаемости материала узла крепления видно взаимодействие крепежного элемента с LVDT, что при перемещении узла крепления относительно корпуса трансформатора приводит к смещению градуировочной характеристики датчика. В случае использование втулки, выполненной из парамагнитного материала – пластмассы, воздействия на катушки не наблюдается, делая ее применение предпочтительным.

Для определения возможности компенсации влияния узла крепления, при использовании стандартных узлов креплений из Ст3, было проведено экспериментальное исследование. Трансформаторный датчик линейных перемещений базировался в нижнем положении в узле крепления и определялась градуировочная характеристика на всем диапазоне измерений датчика. Аналогичным образом были построены градуировочные характеристики при смещении LVDT относительно узла крепления, рисунок 4.

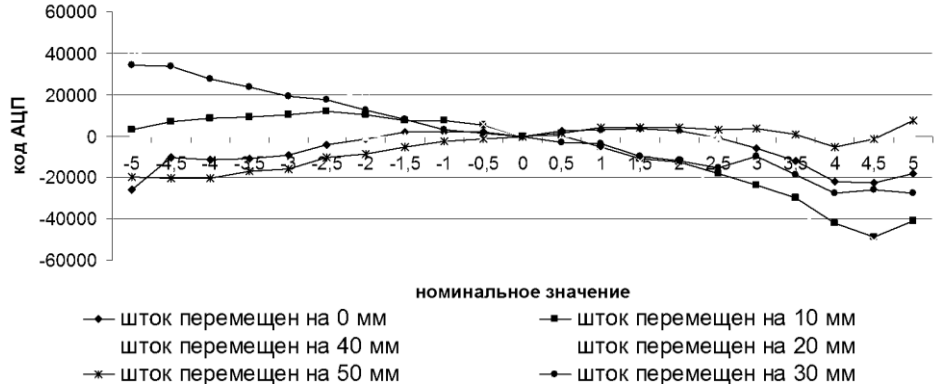


Рис.4 – Флуктуации LVDT при варьировании положения узла крепления

Для наглядности исследования характера взаимодействия LVDT и материала узла крепления, показания датчика представлены в виде кода АЦП, без систематической составляющей и в смещенной относительно нуля форме. Из графика видно, что при изменении узла крепления относительно LVDT происходит изменение коэффициента угла наклона градуировочной характеристики. Для компенсации изменения коэффициента угла наклона предложено использование коррекции, которая должна проводиться после базирования датчика в рабочем положении и перед началом его работы. Коэффициент коррекции датчика может быть рассчитан по двум максимально разнесенным между собой точкам диапазона измерения, по которым в приближении рассчитывается коэффициент наклона градуировочной характеристики и вносится поправка в показания датчика.

Список литературы

1. *Алексеев И.* LVDT-датчики перемещения // Электронные компоненты №11, 2006. – с. 74.
2. *Грушичева М.В.* Микропроцессорный датчик линейных перемещений на базе линейного дифференциального трансформатора // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: Труды XVIII Международного семинара. Тез. докл. – М.:МИРЭА, 2009. – с. 235.

05.23.22

Н.В. Данилина к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
Институт строительства и архитектуры,
кафедра Проектирование зданий и градостроительства,
Москва, nina_danilina@mail.ru

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ «ПЕРЕХВАТЫВАЮЩИХ» СТОЯНОК

Статья посвящена вопросам размещения «перехватывающих» стоянок в составе городских территорий. Являясь многофункциональным объектом транспортной инфраструктуры с широким спектром целей и задач, стоянки подобного типа требуют учета множества факторов в процессе их проектирования. В статье представлена схема последовательного анализа совокупности данных, результатом которого является обоснованный выбор рекомендуемого для реализации архитектурно - планировочного решения «перехватывающей» стоянки.

Ключевые слова: «перехватывающая» стоянка, транспортно-пересадочный узел, многофакторный анализ, архитектурно-планировочное решение.

К настоящему времени опыт организации и функционирования «перехватывающих» стоянок уже более 25 лет. Первые парковки данного типа появились в США в середине 70-х годов [5] и, на сегодняшний день, широко распространены по всему миру – в городах, столкнувшихся с транспортной проблемой перегрузки улично-дорожной сети. Для России размещение «перехватывающих» стоянок является относительно новым, но перспективным, с точки зрения градостроительства, мероприятием. В крупнейших городах: Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Нижнем Новгороде, Воронеже, Екатеринбурге – разрабатываются и воплощаются в жизнь концепции создания систем «перехватывающих» стоянок. Общим в данных документах является то, что в их основе лежит подбор свободных участков для размещения «перехватывающих» стоянок, в то время как процесс планирования и проектирования стоянок данного типа представляет собой более сложный и многофакторный процесс. Таким образом, проблема организации процесса начального планирования «перехватывающей» стоянки, позволяющего учитывать все факторы, определяющие ее функционирование, является одной из наиболее актуальных.

В настоящее время в мире существует несколько типов [4] «перехватывающих» стоянок, предназначенных для «перехвата» определенного типа пользователей. Общим является то, что они обеспечивают пересадку автовладельцев на один из видов общественного или любого другого вида транспорта большей вместимости, в том числе вариантными видами «перехвата» является так же пересадка на велосипеды или продолжение пути пешком. «Перехватывающая» стоянка каждого типа, являясь многофункциональным объектом транспортной инфраструктуры, обладает широким спектром целей и задач в различных сферах, круг которых обозначен на рисунке 1.

Сферы влияния «перехватывающих» стоянок по типам выполняемых задач

Рис. 1 - Сферы влияния «перехватывающих» стоянок по типам выполняемых задач

Выбор местоположения «перехватывающей» стоянки должен быть обоснован максимумом выполняемых ею функций. Проведенные исследования показывают [1], что для городов России наиболее практичным является размещение «перехватывающих» стоянок в составе мультимодальных транспортно-пересадочных узлов (ТПУ), привязанных к системам скоростных внеуличных видов транспорта. Именно такие «перехватывающие» стоянки обеспечивают весь набор своих функций. При этом следует отметить, что в мире существуют менее глобальные варианты размещения стоянок – локальные, обособленные и небольшой емкости, которые тем не менее также успешно функционируют [4]. Решение задачи размещения «перехватывающей» стоянки в транспортном узле города является возможным посредством последовательного многофакторного анализа совокупности данных, в виде схемы представленной на рисунке 2:

Организация процесса проектирования «перехватывающих» стоянок

Рис. 2 - Схема организация процесса проектирования «перехватывающих» стоянок

1. Сбор информации о существующих на момент начала проектирования «перехватывающих» стоянок в районе проектирования и на территориях, к ней прилегающих. Размещения новой «перехватывающей» стоянки должно идти в увязке с объектами подобного типа, создавая при этом единую транспортную систему, элементы которой могут дублировать и дополнять друг друга.
2. Функциональное моделирование, обеспечивающее точное описание всех функций «перехватывающей» стоянки, а также характера взаимосвязей между ними. Будучи построенной, такая модель способна обеспечить полное представление о целях и задачах процесса проектирования рассматриваемого объекта, которые формируются исходя из местоположения рассматриваемой территории относительно главного транспортного узла. В большинстве случаев в городах главным транспортным узлов является центральная планировочная зона, однако им могут быть и другие фокусы притяжения и пересечения транспортных потоков, снижение интенсивности которых и является одной из целей «перехватывающей» стоянки;
3. Определение потребности района проектирования в размещении, а также его основных характеристик «перехватывающей» стоянки. Существующие методики [1,5] позволяют рассчитать основной показатель – емкость стоянки, определяющая дальнейшие планировочные, архитектурные и технологические параметры проектируемого объекта.
4. Анализ территориального ресурса рассматриваемой территории, целью которого является определения территориальных резервов. Предполагает анализ землепользования территорий узла, на основе которого возможно выделение потенциальных территорий для размещения «перехватывающей» стоянки. Площадь рассматриваемой территории должна обеспечивать планировочные, архитектурные и технологические параметры стоянки, определенные ранее;
5. Увязка проектируемой «перехватывающей» стоянки с объектами транспортной инфраструктуры рассматриваемого узла, а также системой существующих или проектируемых подобных объектов. Успешность стоянок обеспечивается качеством функциональных связей с улично-дорожной сетью, системами городского пассажирского транспорта, железной дорогой, объектами внешнего транспорта, гаражно-стояночными объектами и любых других, присутствующих на рассматриваемой территории;
6. Разработка вариантов архитектурно-планировочных решений «перехватывающей» стоянки на рассматриваемой территории.
7. Построение динамической компьютерной модели с использованием программных комплексов. В настоящее время возможно имитационное моделирование дорожного движения с помощью пакета программ VISSIM или VISSUM PTV Vision.
8. Экологический анализ вариантов инвестиционных проектов, задачей проведения которого является первичный экологический анализ на основе общего представления о сложившейся на территории экологической ситуации и информации о предлагаемых планировочных, технологических и иных решениях;
9. Анализ эффективности инвестиционного проекта, включающий предварительные решения по административной принадлежности, политике управления и содержания проектируемого объекта. Также необходимо предварительное согласование с городскими службами и учет мнения населения прилегающих территорий по данному вопросу;
10. Применение методик сравнения и оценки вариантов планировочных решений. Возможно применение экспертных и квалиметрических методов, подобные которым представлены в зарубежных исследованиях [3,4]. Их недостатком является то, что они мало учитывают специфику градостроения России. Разработка таких методик является темой для дальнейших научных разработок.

Итогом последовательного сбора и анализа информации является обоснованный выбор рекомендуемого для реализации варианта архитектурно-планировочного решения.

Предложенный подход к процессу планирования размещения «перехватывающих» стоянок, может являться практическим руководством к действию при решении сложной задачи их проектирования.

Список литературы

1. *Данилина Н.В., Власов Д.Н.* Система транспортно-пересадочных узлов и «перехватывающие» стоянки, Lap Lambert Academic Publ., 2013 г., 82стр.
2. *Bilal Farhan M.S.*, Evaluation, modelling and policy assesment for park-and-ride services as a component of public transportation, The Ohio State University,2003, 139 pages
3. *Burns, E.N.* Priority Rating of Potential Park-and-Ride Sites. ITE journal, 1979, vol.49, no.2
4. EuroTest study on Park & Ride: European hotchpotch or hotspots?, FIA European Bureau, Press release Brussels, 21st January 2009, http://www.eurotestmobility.com/eurotest.php?itemno=290 (дата обращения 21.09.2013г.)
5. *Spillar Robert J.*, Park-and-Ride Planning and Design Guidelines., Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc Monograph.- N.Y., 1997,-203 pp.

05.23.01

[1]М.А. Дашевский д.т.н., [2]В.Л. Мондрус д.т.н., [3]Д.К. Сизов к.т.н., [4]С.Н. Шутовский

[1]ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА», Москва, vibroprotect@mail.ru
[2]Московский государственный строительный университет, факультет промышленного и гражданского строительства, кафедра строительной механики, Москва, mondrus@mail.ru
[3]ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА»,
отдел виброизмерений и проектирования систем виброзащиты, Москва, vibroprotect@mail.ru
[4]ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА», Москва, vibroprotect@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЯХ БЫВШЕЙ ГОРОДСКОЙ УСАДЬБЫ XVIII-XIX вв., ВХОДЯЩИХ В КОМПЛЕКС ЗДАНИЙ ГМИИ им. А.С. ПУШКИНА

В статье описывается впервые выполненная в России система виброзащиты существующего кирпичного здания, расположенного в непосредственной близости от линии метрополитена. Метод виброзащиты основан на использовании резинометаллических заменяемых виброизоляторах.

Ключевые слова: *виброзащита зданий, резинометаллический виброизолятор, метрополитен.*

Одним из современных методов виброзащиты зданий от техногенной вибрации, вызываемой, в первую очередь, движением поездов метрополитена неглубокого заложения, является предложенный М.А. Дашевским и успешно реализованный более чем в 30-ти домах в Москве метод, основанный на использовании отечественных резинометаллических виброизоляторов. Основой метода является полное разделение виброизолируемого строительного объекта горизонтальным виброизоляционным швом, с последующим размещением в нем резинометаллических виброизоляторов и их напряжением гидравлическим домкратом. Формирование виброизоляционного шва под зданием осуществляется в обычном случае (то есть при строительстве нового здания) в процессе выполнения основных строительно-монтажных работ. Далее после окончания работ по возведению несущих конструкций здания выполняется монтаж виброизоляторов в предварительно сформированные в процессе строительства ниши. В отличие от строительства здания сразу на резинометаллических виброизоляторах, подобная схема позволяет осуществлять плавный подъем здания и обеспечивает гарантированную разность осадок отдельных элементов здания друг относительно друга.

Монтаж виброизоляторов в виброизоляционном шве осуществляется уже после завершения всех строительно-монтажных работ на объекте, в период выполнения отделочных работ, когда в уровне виброизоляционного шва уже действует основная нагрузка от виброизолируемых конструкций здания.

Виброизолированное в 2012 г. здание бывшей городской усадьбы XVIII-XIX вв., входящее в комплекс зданий ГМИИ им. А.С. Пушкина, представляет собой одно-двух этажное кирпичное здание с массивными кирпичными сводами, расположенными в подвальной части. Здание располагается в непосредственной близости от туннелей сразу двух действующих линий метрополитена:

- Сокольнической линии метрополитена неглубокого заложения, глубина заложения по своду туннеля составляет всего 2-3 метра на участке между станциями «Кропоткинская» - «Библиотека им.Ленина»;

- Серпуховско-Тимирязевской линии глубокого заложения (глубина заложения по своду составляет около 40 м).

Пространственная жесткость здания до реставрационных работ была нарушена деформациями. В процессе выполненных работ по реконструкции было осуществлено перезаглубление отметки подошвы фундамента, вместо бутового фундамента под всеми конструкциями виброизолируемого строения был устроен железобетонный пояс с

расположенными в нем нишами под всеми несущими конструкциями здания. На рис.1 и рис.2 приведены характерные разрезы реконструируемого здания с указанием уровня виброизоляционного шва.

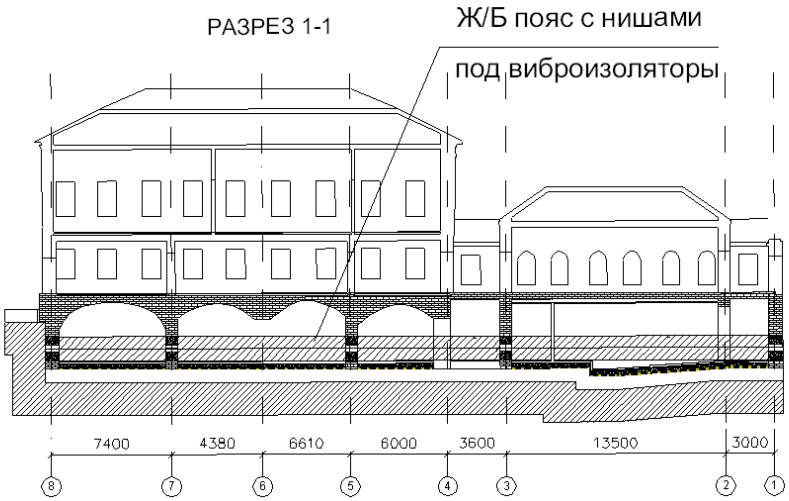


Рис. 1- Расположение виброизоляционного шва под зданием (продольный разрез)

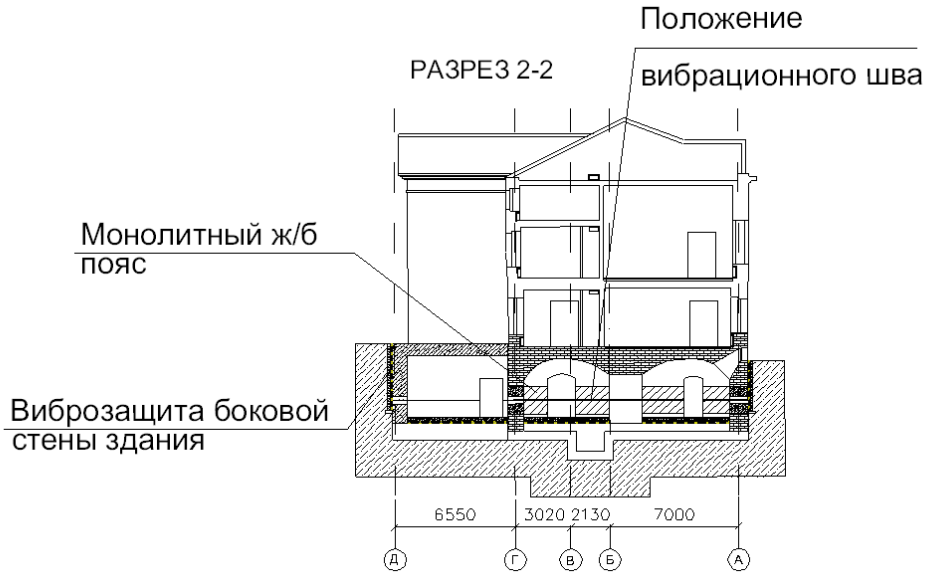


Рис. 2- Расположение виброизоляционного шва под зданием (поперечный разрез)

Особенностью выполненных виброзащитных работ является:

- необходимость полного разделения существующих конструкций массивных кирпичных сводов, расположенных в подвальной части здания;
- необходимость устройства существенной по высоте (2,5-4,5 м) защитной подпорной стенки, отделяющей уже виброизолированные конструкции здания от примыкающего грунта с заполнением промежутка между конструкцией подпорной стенки и зданием резиновыми виброизоляторам;
- размещение в подвальном этаже здания плавающих полов в местах расположения выставочных залов.

Подобная трехкомпонентная система виброзащиты позволяет виброизолировать не только наземные этажи здания, но и способствует формированию комфортной обстановки в подземных выставочных залах.

До выполнения виброзащитных работ в здании на площадке строительства, в непосредственной близости от реставрируемого объекта была произведена серия натурных измерений уровня вибрации, согласно которым прогнозируемый максимальный уровень вибрации в помещениях здания при движении поездов метрополитена может достигнуть уровня 88,9 дБ в октавной полосе 16 Гц, уровня 101,9 дБ в октавной полосе 31,5 Гц и уровня 111,4 дБ в октавной полосе 63 Гц. Таким образом, превышение максимально допустимого по Санитарным Нормам РФ для помещений общественных зданий уровня в 79 дБ в октаве 16 Гц составляет 9,9 дБ, превышение уровня в 85 дБ в октаве 31,5 Гц – 16,9 дБ, а превышение уровня в 91 дБ в октаве 63 Гц - 20,4 дБ.

Для осуществления виброзащитных мероприятий в здании использовались 4/5-ти слойные виброизоляторы отечественного производства с первой собственной частотой 4,63 Гц. Как показали натурные измерения вибрации в здании, уже после выполненной виброзащиты уровни вибрации значительно снизились.

Таблица 1- Результаты виброизмерений

Место проведение измерений	Средние уровни вибрации в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, дБ		
Предельно-допустимые значения вибрации в административных и общественных зданиях	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц
	79	85	91
Уровень подвала, точка на расстоянии 2-4 м от туннеля	73	87	81
Уровень 1-го этажа здания 5-6 м от туннеля	80	91	70
Уровень 1-го этажа здания 6-7 м от туннеля	67	81	74

Максимальные превышения уровней вибрационного воздействия в виброизолированном здании (до 6 дБ в октавной полосе 31,5 Гц) наблюдаются на первом этаже, несмотря на то, что в уровне подвала максимальная величина зафиксированного превышения составляет всего 2 дБ в октавной полосе 31,5 Гц (что соответствует точности прибора, используемого для фиксации виброускорений). Подобная ситуация связана в первую очередь с присутствием ряда «замыканий» между виброизолированными конструкциями здания и примыкающим к зданию грунтом, полная ликвидация которых была трудноосуществима в процессе работ по реконструкции объекта, а также с учетом значительной (до 4,5 м) высоты защитной подпорной стенки. Помимо этого, в настоящий момент к виброизолированным конструкциям примыкает часть строения, непосредственно, размещенная на крышке туннеля метрополитена, реконструкция и виброзащиты которой намечена на ближайшее время. Однако даже с учетом присутствующих «замыканий» между виброизолированной и невиброизолированными частями здания эффективность виброзащиты составляет не менее 10 дБ.

Список литературы

1. *Санитарные нормы РФ. СН 2.2.4/2.1.8.566-96*. «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

2. *М.А.Дашевский, Е.М.Миронов, Г.А.Кублицкая*. Прогноз свойств резиновых виброизоляторов на основе уточненных реологических моделей. Труды ЦНИИСК. Динамика сооружений. М.1990г.

3. *М.А.Дашевский, В.В.Моторин, Е.М.Миронов.* Виброзащита многоэтажных крупнопанельных зданий. – Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений (ССБС). Москва. №4, 2001г.

05.02.02

А.В. Жданов к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича. Столетовых»,
Владимир, zhdanov@vlsu.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА

В статье рассматриваются вопросы классификации мехатронных модулей систем вспомогательного кровообращения (ВК) и искусственного сердца (ИС). Представлены результаты анализа известных отечественных и зарубежных конструкций модулей систем ВК и ИС

Ключевые слова: *Система вспомогательного кровообращения (ВК), искусственное сердце (ИС), классификация, мехатронный модуль (ММ).*

Основные признаки классификации систем ВК и ИС предложены В.И.Шумаковым и В.Е.Толпекиным [1], Л.А.Бокерия [2], Ю.М.Киселевым, Г.П.Иткиным, Н.И.Куликовым и другими отечественными авторами. Ряд классификаций описано зарубежными учеными [3,4]. Анализ данных работ позволяет классифицировать системы ВК и ИС по следующим признакам: (а) *типу создаваемого потока и типу насоса* (непрерывные – центрифужные (центробежные), роликовые (аксиальные), и пульсирующие), (б) *по типу привода* (электромеханические, электрогидравлические, электромагнитные, пневматические, комбинированные), (в) *возрасту пациента* (детские, взрослые); (г) *степени автономности* (полностью автономные, частично автономные, неавтономные), (д) *методу подключения* (паракорональные, экстракорональные, имплантируемые), (е) *типу источника энергии*; (ж) *стационарности*, (з) *типу системы управления* (аналоговая, цифровая и др.) и т.д. В ранних классификациях [3] использовались признаки закрепления систем (ранцевые, нательные и др.). Наиболее простая классификация систем ВК и ИС предложена в [1]: (1) системы, улучшающие энергоснабжение миокарда; (2) системы, уменьшающие потребление миокардом кислорода; (3) системы, объединяющие оба фактора (одновременно улучшающие энергоснабжение миокарда и уменьшающие потребление им кислорода). Все перечисленные системы строятся на основе различных насосов пульсирующего и непрерывного потока. Любая система ВК и ИС объединяет целый ряд классификационных признаков в различных сочетаниях и комбинациях. Например, система *HeartMate VE-LVAS* относится к имплантируемым системам ВК пульсирующего потока электромеханического типа с нереверсивным двигателем, полностью автономная, с цифровой системой управления и предназначена для взрослых пациентов.

Наиболее быстро развивающимся типом систем ВК и ИС являются имплантируемые устройства. Это объясняется их удобством для пациента, возможностью беспрепятственного перемещения, отсутствием дополнительных стационарных устройств (компрессоров, систем управления и др.), меньшим количеством проводов и соединительных трубок. В состав имплантируемых систем ВК и ИС в общем случае входят *мехатронный модуль (ММ)*, состоящий из насоса, искусственного желудочка сердца *с магистралями, канюлями и клапанами, системы управления* и *датчиков*; *система питания*, состоящая из основного и резервного аккумуляторов и системы чрескожной передачи энергии; *камера воздушного компенсатора.* В таблице 1 представлена классификация систем ВК и ИС, используемых в клинической практике, в основу заложен тип ММ. Следует отметить, что все системы делятся на устройства пульсирующего и непульсирующего типов. Для примера в таблице взято не более 3 представителей из группы.

Таблица 1 - Классификация систем ВК и ИС, используемых в клинической практике

Тип устройства	Позиция	Тип ММ	Наименование	L, л/мин	Р, Вт	Вес, г	Размер, мм
Устройства длительного действия							
Непульсирующего типа	И	А	Jarvik 2000	6,0	10,0	170	25x25x25
			HeartMate II	6,0	10,0	160	25x25x62
			Incor	6,0	6,0	200	30x30x114
	Э	Ц	BioPump	6,0	8,0	200	87
			Giro	10	7,0	305	145
			Nikkiso	10	15	145	25
Пульсирующего типа	Э	ПН	Thoratec LVAD	7,2	*	нд	125 x 80 x 60
			Heart Excor	7,0	*	216	120 x 90 x 40
			PoLVAD	7,0	*	нд	120 x 90 x 40
	И	ЭМХ	Yamagata LVAD	8,0	20	580	90x90x56
			Heart Mate VE LVAS	9,6	25	870	97x97x53
			Baylor LVAD	9,0	20	550	97x97x52
	И	ЭМГ	NovaCor	10	нд	1000	90×140×64
	И	ЭГ	Carmat	9,0	нд	нд	нд
ИС	И	ПН	SynCardia	9,5	*	160	нд
		ЭГ	AbioCor TAH	10	нд	1090	100x100x80
		ЭМХ	Baylor TAH	9,0	35	620	97x97x82
Временные устройства							
Краткосрочные устройства	Э	Ц	Levitronix Centrimag	9,9	*	680	90x90x67
		Ц	Tandem Heart	5,0	*	280	62x 62x62

*В таблице обозначено: А – аксиальный, Ц – центробежный, ПН – пневматический, ЭМХ – электромеханический, ЭМГ – электромагнитный, ЭГ – электрогидравлический, Э - экстракарпоральный, И – имплантируемый; L – производительность, Р – мощность, нд – нет данных, * - требуется подключение внешних стационарных устройств*

Как видно из таблицы наибольшее распространение имеют имплантируемые системы длительного действия, которые можно применять в качестве «моста» при трансплантации, на кратковременные периоды и при длительном использовании (до 4 лет и более). Все устройства обеспечивают требуемую производительность от 6 до 10 л/мин, при этом для пульсирующих систем используются ММ с кулачковым и диафрагменным приводом, размеры и вес которых позволяют их использовать только для взрослых пациентов, в качестве изменяемых параметров можно использовать скорость и объем ударного выброса, соотношение систола/диастола. Системы непульсирующего потока более компактны, однако обеспечивают только непрерывный поток в зависимости от скорости вращения импеллера. Краткий анализ различных видов ММ представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Преимущества и недостатки ММ систем ВК и ИС

Тип ММ	Возможность имплантации	Простота конструкции	Шум	Диапазон регулирования	Изменение β	Надежность	Длительность	Реализация ВК	Реализация ИС
1. ЭМХ	+	±	+	+	+	±	±	+	+
2. ЭМГ	+	±	±	±	±	±	+	+	-
3. ЭГ	+	±	+	±	±	+	+	-	+
4. ПН	-	+	+	+	+	+	-	+	±
5. А	+	+	+	±	-	+	+	+	+
6. Ц	+	+	+	±	-	+	+	+	+

В таблице принято: «+» - 1, «±» - 0,5, «-» - 0

Рассмотрим дальнейшую классификацию имплантируемых ММ систем ВК и ИС с позиции конструктивных решений. Реализация ММ непульсирующего кровотока ММ (тип Аи Ц) связано с использованием высокоскоростных вентильных двигателей, которые вращают импеллер с различной частотой. Для этого используются различные виды опор в зависимости от максимальной частоты вращения двигателя представленных в таблице 3.

В ММ типа ЭМХ важным фактором является тип двигателя и исполнительного механизма (ИМ), сочетание которых обеспечивает требуемые характеристики модуля представленных в таблице 4. В качестве двигателей используются вентильные многополюсные машины, оптимизированные по крутящему моменту.

Таблица 3 - Классификация ММ непульсирующего типа по виду опор

№	ММ	Частота вращения, мин-1	Вид опоры
Центробежные ММ (Ц)			
1	*MSCP*	2 000	Магнитные подшипники
2	*HeartQuest*	2 500	Гибридный магнитный подшипник: Комбинация из постоянных магнитов и электромагнитов
3	*Isoflow*	3 500	Подшипники скольжения и шарикоподшипники
4	*Bio-Pump*	5 000	Поликарбонатный опорный подшипник
Аксиальные ММ (А)			
1	*Valvo Pump*	9 000	Миниатюрные шариковые подшипники
2	*HeartMate II*	13 000	Керамические подшипники с алмазоподобными и керамическими покрытиями
3	*Hemopump*	25 000	Самосмазывающиеся гидростатические опорные подшипники
4	*DeBakey VAD*	120 000	Керамические подшипники, погруженные в кровь
5	*Jarvik 2000*	160 000	

Таблица 4 - Классификация ММ пульсирующего типа по типу двигателя и ИМ

Элемент ММ	Варианты ММ				
Двигатель	реверсивный			нереверсивный	
ИМ	нереверсивный			реверсивный	
	винтовой	реечный	волновой	кулачковый	шарнирно-рычажный
Примеры ММ	*YamagataLVAD, LionHeartLVAD*	*Патент 2180858 РФ*	*UPTAH*	*Heart MateVE LVAS*	*н/д*

Анализ классификаций и представленных таблиц показывает, что каждый тип ММ имеет свои недостатки и преимущества, поэтому в мировой практике развиваются многие конструкции ММ, каждое направление представлено 5…10 успешными вариантами решений, которые реализуются в экспериментальных исследованиях и клинике. Дальнейшее развитие ММ связано с использованием перспективных двигателей с высокими удельными характеристиками, усовершенствованных ИМ, опор, систем и алгоритмов управления [5]. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 13-08-01306 А «Разработка теории и методов синтеза мехатронных модулей имплантируемых автономных систем искусственного сердца».

Список литературы

1. *Шумаков, В.И.* ИС и ВК [Текст] / В.И. Шумаков, В.Е. Толпекин, Д.В. Шумаков. – М.: Янус, 2003. - 376 с.
2. *Бокерия, Л.А.* Системы вспомогательного и заместительного кровообращения [Текст] / Л.А. Бокерия, К.В. Шаталов, А.А. Свободов. – М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2000. – 196 с.
3. *Ганин, В.П.* Биотехнические и медико-биологические аспекты разработки имплантируемых систем обхода левого желудочка пульсового типа: монография [Текст] / В.П. Ганин, В.В. Морозов, А.В. Жданов. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2007. – 192 с. – ISBN 978-5-89368-832-0.
4. *Reul H.M.* Blood pumps for circulatory support [Текст] / H.M. Reul, M. Akdis // Perfusion 2000; 15: pp.295–311
5. *Жданов, А.В.* Направления развития ММ систем ВК и ИС пульсирующего типа [Текст] / А.В. Жданов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – №8(125). – С. 51-54. – ISSN 1684-6427.

05.02.02

А.В. Жданов к.т.н., И.В. Волкова

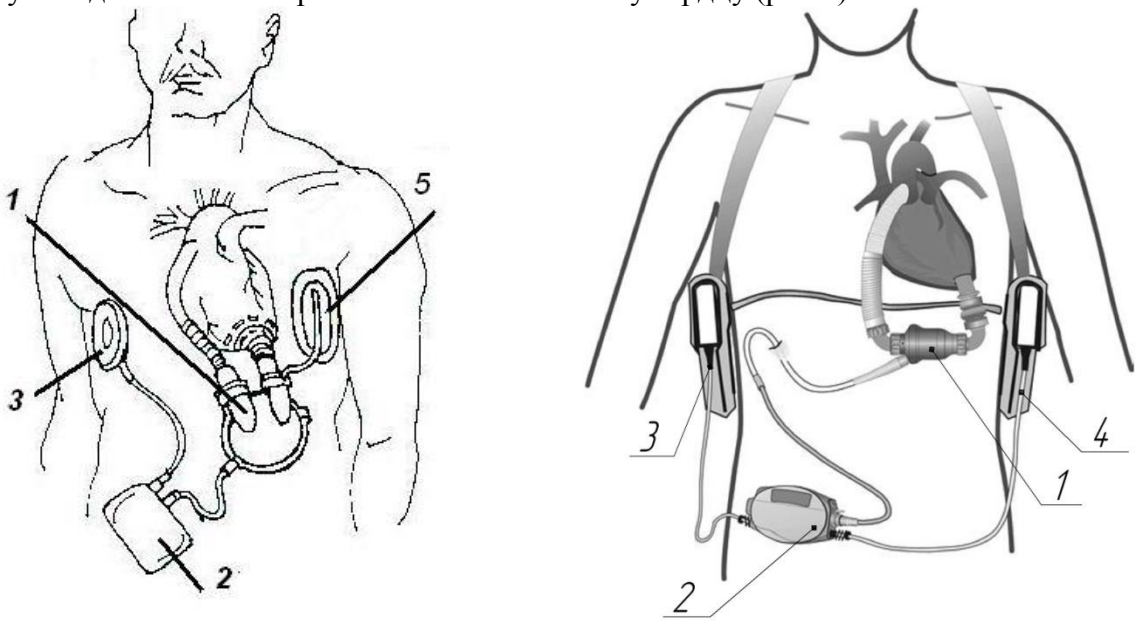
ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича. Столетовых»,
Владимир, zhdanov@vlsu.ru

АНАЛИЗ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ СИСТЕМ ОБХОДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА

В статье проводится анализ схем и конструкторских решений мехатронных модулей систем обхода левого желудочка сердца пульсирующего типа. Представлены результаты анализа отечественных и зарубежных схем модулей, описаны перспективные варианты конструкций.

Ключевые слова: *система обхода левого желудочка сердца (ОЛЖС), анализ схем, мехатронный модуль (ММ).*

Системы ОЛЖС (системы вспомогательного кровообращения) являются единственными методами поддержания жизни кардиологических больных с тяжелыми формами сердечной недостаточности [1, 2] и могут использоваться как в качестве «моста» перед трансплантацией, так и в длительный период реабилитации [3]. Данные системы состоят из мехатронного модуля *1* (ММ), устройства энергопитания *3*, системы управления *2* и компенсационной камеры (для систем пульсирующего типа), которые имплантируются пациенту и подключаются параллельно естественному сердцу (рис.1).



а) пульсирующего типа (ArrowLionHeart) [2] *б) непульсирующего типа (Heart Mate II)* [4]

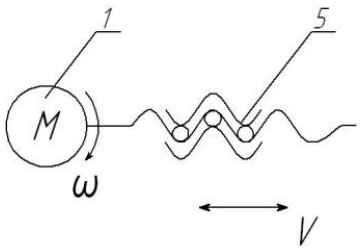
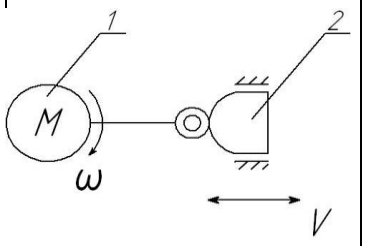
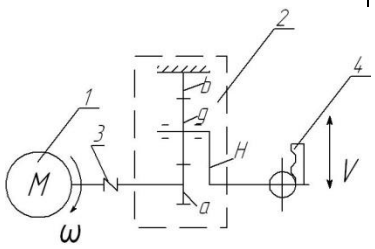
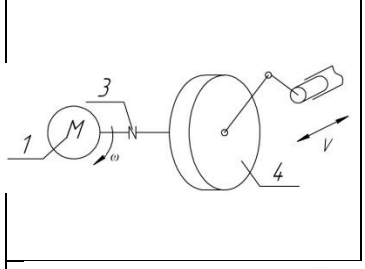
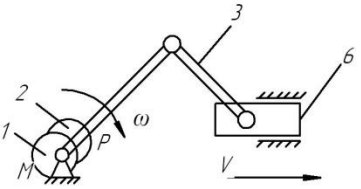
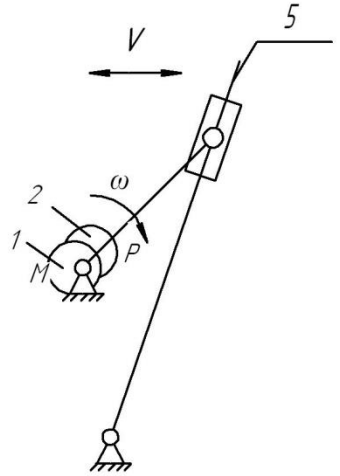
1 – ММ; 2 – СУ; 3, 4 – устройства энергопитания (основной и резервный аккумуляторы); 5 – компенсационная камера

Рис. 1 - Состав и внешний вид систем ОЛЖС.

Системы ОЛЖС пульсирующего типа обеспечивают кровоток, близкий к естественному, хотя имеют большие габариты и массу по сравнению с системами непульсирующего типа [1]. Основным элементом систем ОЛЖС являются ММ, которые отличаются разнообразием схем. На основании описаний [1-3, 5] в табл. 1 представлены конструктивные решения ММ систем пульсирующего типа, а в табл.2 – оценка этих конструкций. Наиболее

перспективными решениями для пульсирующего кровотока, с нашей точки зрения, являются схемы *1а* с реверсивным и *1б* с нереверсивным двигателем и осевой схемой расположения исполнительного механизма (ИМ) – для *1а* – это винтовой ИМ качения, для *1б* – кулачковый ИМ. Схема *1а* имеет большие функциональные возможности за счет изменения соотношения *β (*систола/диастола), однако схема *1б* обеспечивает высокий КПД и низкое тепловыделение. Все представленные схемы имеют практическую реализацию в коммерческих устройствах, однако основным недостатком являются большие габариты и масса. Габариты естественного сердца составляют для взрослого человека 130х100х70 мм, на рис.2. проведено сопоставление известных систем ОЛЖС ПТ, где указаны максимальные габариты известных систем, которые составляют 120х100х70 мм.

Таблица 1 – Варианты конструктивных схем ММ систем ОЛЖС пульсирующего типа

схема	а) С реверсивным двигателем	б) С нереверсивным двигателем
1. Осевая		
2. Угловая		
3. Качающаяся		

На схемах обозначено:
1 – двигатель; 2 – планетарный редуктор;
3 – муфта;
4 – реечный механизм;
5 – винтовой ИМ качения (РВМ, ШВМ)
6 – шарнирно-рычажный ИМ

На схемах обозначено:

1 – двигатель;
2 – кулачковый ИМ;
3 – муфта;
4 – шарнирно-рычажный ИМ

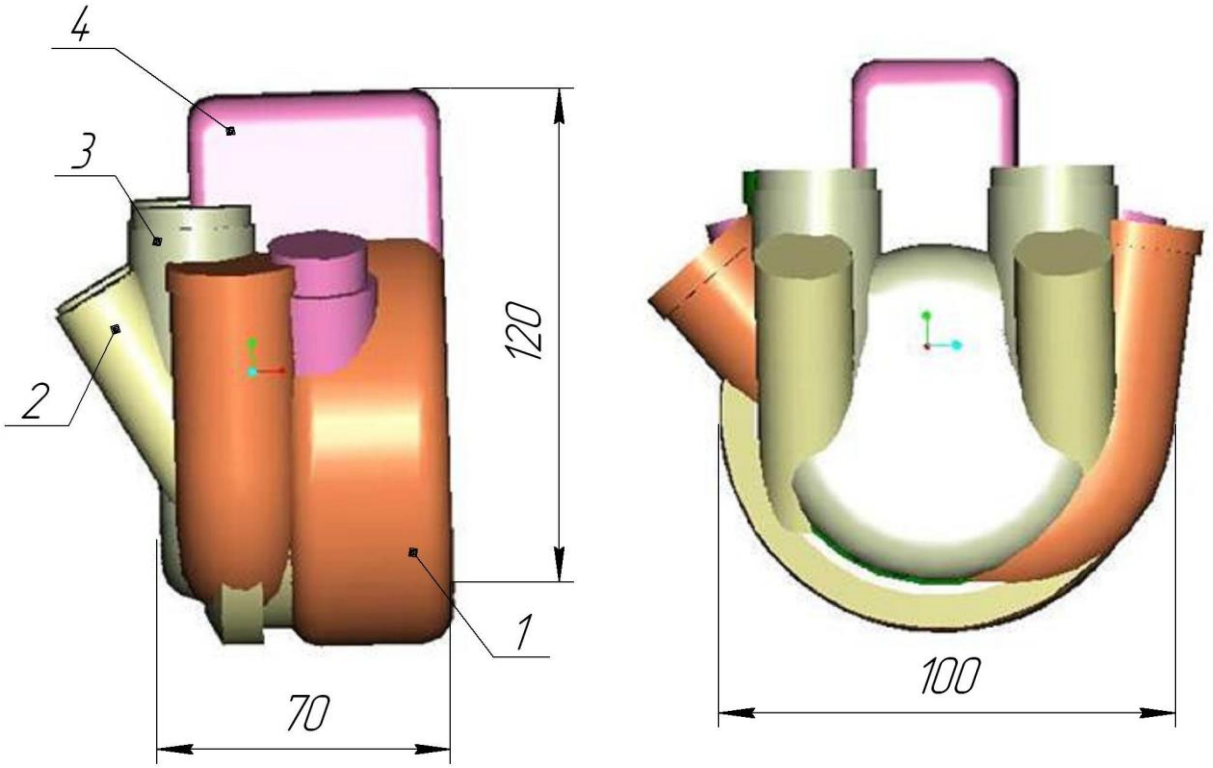
5 – кулисный ИМ

В течение ряда лет в ВлГУ разрабатываются ММ систем ОЛЖС по схемам *1а, 1б* и *2а.* Особенностью данных систем является использование бесконтактного вентильного двигателя и различных исполнительных механизмов (ИМ). В ходе проведения оптимизации конструкций по схеме *1а* удалось снизить габариты устройства с Ø92 х 70мм до Ø92 х 58 мм путем варьирования видов ИМ, двигателей и конструктивной компоновки.

Таблица 2. Сравнительный анализ схемных решений ММ систем ОЛЖС пульсирующего типа

Схема	Усилие *F*	Скорость, *V*	Габариты	вес	Соотношение *β*	КПД, *η*	Надежность, *P(t)*	Ресурс, *L*	Итого
1а	+	+	±	±	+	+	+	±	6,5
1б	+	+	±	±	-	+	+	+	6,0
2а	+	+	±	±	+	±	±	±	5,5
2б	+	+	±	±	-	±	±	+	5,0
3а	+	+	-	+	-	±	-	-	3,5
3б	+	+	-	+	-	±	-	-	3,5

В таблице принято: - - 0 баллов; ± - 0,5 баллов; + - 1 балл



а) вид слева *б) вид спереди*

1 – Swiss LVAD; 2 –Yamagata LVAD; 3 – Baylor LVAD; 4 – Novacor LVAS

Рис.2 - Сравнительная оценка габаритов ММ систем ОЛЖС ПТ

Пример конструкции ММ системы ОЛЖС без искусственного желудочка сердца по схеме *1а* представлен на рис.3. Особенностью данной компоновки является встраивание РВМ *1* внутрь ротора *5* электродвигателя, что позволяет существенно уменьшить осевой размер, а также размещение направляющих *9* толкателя *13* снаружи корпуса с крышкой *4* (патент 115665).

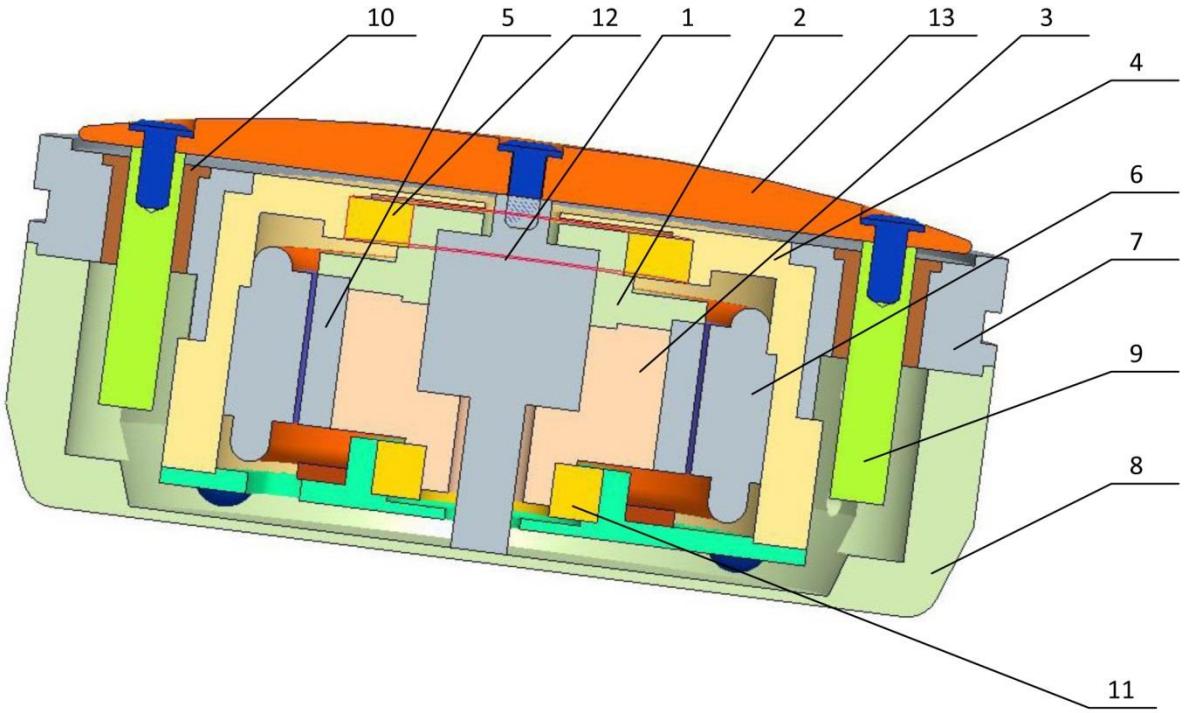


Рис. 3 - Твердотельная модель ММ системы ОЛЖС. На рисунке обозначено: 1 – РВМ; 2 – крышка ИМ; 3 – корпус ИМ; 4 – корпус с крышкой; 5 – ротор двигателя; 6 – статор двигателя; 7 – крышка ММ; 8 – корпус ММ; 9 – направляющая; 10 – втулка; 11,12 – подшипники; 13 - толкатель

Список литературы

1. *Шумаков, В.И.* ИС и ВК [Текст] / В.И. Шумаков, В.Е. Толпекин, Д.В. Шумаков. – М.: Янус, 2003. - 376 с.

2. *Ганин, В.П.* Биотехнические и медико-биологические аспекты разработки имплантируемых систем ОЛЖС пульсового типа: монография [Текст] / В.П. Ганин, В.В. Морозов, А.В. Жданов. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2007. – 192 с. – ISBN 978-5-89368-832-0.

3. *Жданов, А.В.* Направления развития ММ систем ВК и ИС пульсирующего типа [Текст] / А.В. Жданов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – №8(125). – С. 51-54. – ISSN 1684-6427.

4. *Slaughter, M.S.* Clinical management of continuous-flow left ventricular assist devices in advanced heart failure [Text] / M.S. Slaughter et al // JHLT, 2010, V.29, No. 4S, S1-S38.

5. *Волкова, И.В.* Проектирование ИМ насосных систем ВК [Текст] / И.В. Волкова, А.В. Жданов// Научно-технический вестник Поволжья. №2 2011г. – Казань. – С. 59-63. ISSN 2079-5920.

05.13.01

В.Г. Жуков, В.В. Бухтояров

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева, кафедра безопасности информационных технологий,
Красноярск, vadimzhukov@mail.ru

АЛГОРИТМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С РАДИАЛЬНЫМИ БАЗИСНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ[1]

В работе представлен краткий обзор методов проектирования искусственных нейронных сетей с радиальными базисными функциями в контексте их применения для решения задач классификации. Приведены результаты сравнительного исследования эффективности рассмотренных методов на наборе тестовых задач. Приводятся и обсуждаются результаты применения нейронных сетей с радиальными базисными функциями для решения задачи обнаружения инцидентов информационной безопасности на примере набора данных KDD Cup'99. Обсуждаются перспективные направления для дальнейших исследований нейронных сетей с радиальными базисными функциями и возможности их использования в распределенных системах обнаружения вторжений в компьютерных сетях.

Ключевые слова: *искусственные нейронные сети, радиальные базисные функции, классификация, инциденты информационной безопасности.*

Искусственные нейронные сети на настоящий момент, наряду с другими интеллектуальными технологиями анализа данных, достаточно успешно применяются для решения широкого круга задач, которые могут быть отнесены к группам задач классификации, прогнозирования и моделирования. Наиболее часто используемым (по некоторым данным, до 80% приложений нейронных сетей) видом искусственных нейронных сетей являются нейронные сети с архитектурой многослойный персептрон. Однако данный тип нейронных сетей не лишен ряда недостатков, в некоторых случаях существенно ограничивающих их эффективность при решении ряда задач. К таким недостаткам часто относят, например, невозможность определения ситуаций при решении задач классификации, когда паттерн, который необходимо классифицировать попадает в область пространства, для которого обучающие данные отсутствуют и другие. Нейронные сети с радиальными базисными функциями лишены некоторых недостатков, характерных для нейронных сетей с архитектурой многослойного персептрона, что наряду с их достаточно простой структурой сделал их одной из альтернатив многослойным персептронам при решении, например, задач классификации [1].

Несмотря на относительную простоту структуры, нейронные сети обладают достаточно большой вариативностью, что с одной стороны обеспечивает их адаптивность и возможность достижения высокой эффективности на широком круге задач, но с другой стороны требует использования адекватных методов настройки варьируемых параметров таких нейронных сетей для достижения высокой эффективности при решении конкретной задачи. Неверная же настройка параметров, как впрочем и при использовании нейронных сетей с архитектурой многослойного персептрона, может привести к существенном ухудшению результатов при решении конкретной задачи.

[1] Работа поддержана грантом Президента молодым кандидатам наук, договор № 14.124.13.473-МК от 04.02.2013.

2 Методы настройки структуры и параметров нейронных сетей с радиальными базисными функциями

В большинстве исследований нейронных сетей с радиальными базисными функциями в нейронах скрытого слоя используется Гауссиан, обеспечивающий, как показывает практика применения таких сетей, достаточную эффективность нейронной сети:

$$R_i(X) = \exp\left[\frac{-\|X - C_i\|^2}{\sigma_i^2}\right], \quad (1)$$

где X - входной вектор, C_i - центр радиальной базисной функции (центр соответствующего кластера), используемой в i-ом нейроне скрытого слоя сети, $i = \overline{1,k}$, где k - количество нейронов на скрытом слое сети, σ_i - параметр, определяющий ширину радиальной базисной функции, используемой в i-ом нейроне скрытого слоя сети. Параметрами, которые существенно влияют на ошибку классификации, и как следствие, должны быть эффективно подобраны, считаются [2]:

1. Размещение центров кластеров C_i, соответствующих нейронам единственного скрытого слоя.

2. Определение так называемой «ширины окна» σ_i - параметра от которого зависит ширина радиальной функции, используемой в $i-$ом нейроне скрытого слоя сети.

Настройка описанных выше параметров возможна лишь при известном числе нейронов k на скрытом слое проектируемой сети. При построении нейронных сетей с радиальными базисными функциями, очевидно, это значение должно быть определенно до, либо совместно с процессом выбора размещения центра кластеров C_i.

2.1 Методы размещения центров радиальных базисных функций

Ввиду линейных функций в выходном слой нейронных сетей с радиальными базисными функциями, их эффективность существенно зависит от линейной сепарабельности классов в k-мерном пространстве, определяемым нелинейными преобразованиями выполняемыми k скрытыми нейронами сети. На линейную сепарабельность классов в пространстве, определяемом базисными функциями, влияют, в частности, следующие два фактора:

1. Наличие смешанных (*mixed*) базисных функций. Данный фактор связан с размещением центров кластеров без учета принадлежности паттернов, входящих в кластер, к определенному классу - такая информация для обучающей выборки имеется при решении рассматриваемой в рамках данной работы задачи классификации. В этом случае алгоритмом могут быть определены такие кластеры (и соответственно их центры), которые включают в себя объекты, принадлежащие различным классам - смешанные кластеры. Определение таких кластеров ведет к включению в нейронную сеть скрытых нейронов со смешанными базисными функциями, что оказывает существенно негативное влияние на линейную сепарабельность классов в пространстве, определяемом такими базисными функциями [3].

2. Наложение базисных функций, ассоциируемых с различными классами. Это фактор определяется, в первую очередь, выбором ширины базисной функции и подробно рассмотрен в соответствующем разделе 2.2.

2.1.1 Алгоритм кластеризации по *k*-средним

Алгоритм кластеризации по *k*-средним (алгоритм *k*-means) является одним из наиболее популярных методов кластеризации [4]. Данный алгоритм позволяет реализовать размещение центров кластеров для скрытых нейронов сети с радиальными базисными функциями без учета информации о принадлежности элементов обучающей выборки к конкретному классу (обучение без учителя).

Алгоритм требует априорного задания количества кластеров, соответственно определения числа нейронов скрытого слоя. В ходе выполнения алгоритма осуществляется корректировка

положений центров радиальных базисных функций, изначально сгенерированных случайно. Корректировка смещает центр соответствующего кластера в сторону рассматриваемого паттерна с учетом заданного параметра скорости обучения. Для преодоления локальной сходимости алгоритма *k*-means, обычно схему полностью повторяю несколько раз.

2.1.2 *K*-means с учетом принадлежности элементов кластера к классу

Данный метод предполагает использование информации о соответствии обучающих наборов (паттернов) в выборке конкретному классу [3]. Для этого обучающая выборка разбивается на m подвыборок, каждая из которых содержит паттерны, соответствующие только одному классу. Далее алгоритм k-means применяется для построения кластеров, и соответственно, определения их центров, для каждой из подвыборок в отдельности. Вообще, на данном этапе может быть применен и любой другой алгоритм кластеризации. Важно то, что кластеры формируются именно с учетом соответствия паттернов конкретному классу, а не по все обучающей выборке в целом. В целом, подход, очевидно позволяет избежать продуцирования *смешанных* базисных функций.

2.1.3 Нечеткая кластеризация

Данный алгоритм позволяет разбить обучающую выборку на заданное число нечетких кластеров и определить центр для каждого из этих нечетких кластеров. Конкретный паттерн соотносится с кластером посредством меры принадлежности к кластеру. При этом один паттерн может быть ассоциирован сразу с несколькими нечеткими кластерами посредством соответствующих значений меры принадлежности [5]. Таким образом формируется матрица мер принадлежности, каждый элемент которой определяет величину меры принадлежности конкретного паттерна к определенному нечеткому кластеру. Для определения меры принадлежности существует специальный итерационный алгоритм, для которого определены формулы вычисления промежуточных оценок элементов матрицы мер степени принадлежности и центров нечетких кластеров, а также критерии останова.

2.1.4 Конкурентное обучение со штрафом сопернику (*Rival Penalized Competitive Learning*)

Описанные выше алгоритмы в то или ином виде предполагают априорное задание числа нейронов k на скрытом слое сети с радиальными базисными функциями, например, путем явного указания количества соответствующих кластеров или указания максимального числа кластеров, что как и первый случай требует некоторого обоснования. Одним из подходов, позволяющих автоматически подобрать значение параметра k является метод конкурентного обучения со штрафом сопернику [6]. Данный подход является развитием методов классического конкурентного обучение и частотного конкурентного обучения. В этих подходах случайно инициализированные точки (агенты - «кандидаты» на центр кластера) перемещаются в пространстве признаков путем: сравнения значений их параметров с соответствующими параметрами паттернов и последующей модификации значений параметров «кандидатов», таким образом, что они смещаются к центрам кластеров.

2.1.5 Генетический алгоритм

Генетические алгоритмы является мощным средством решения оптимизационных задач. В основу данного метода оптимизации положена идея имитации эволюционных процессов, происходящих в живой природе среди особей какой-либо популяции [7]. Особь (индивид) представляет собой решение, закодированное определенным образом, например в бинарную строку. При решении задачи обучения нейронной сети с радиальными базисными функциями в качестве оптимизируемых параметров сети рассматриваются: количество нейронов на скрытом слое сети, размещение в пространстве признаков соответствующих центров кластеров, параметр ширины для каждой базисной функции. Использование бинарного кодирования заключается в представлении каждого параметра некоторой последовательностью бит конечной длины. В целом, генотип (хромосома) представляет собой конкатенацию битовых последовательностей, кодирующих все параметры обучаемой сети. Критерием оптимизации является значение ошибки классификации, рассчитанное на тестовых выборках соответствующих задач.

2.2 Настройка параметры ширины радиальной базисной функции

Вторым важнейшим параметром, который должен быть подобран в ходе обучения (настройки) сети с радиальными базисными функциями для обеспечения ее эффективного функционирования, является параметр σ_i, определяющий ширину радиальной базисной функции (иногда этот параметр называют «шириной окна»). Считается, что в общем случае увеличение параметра σ_i приводит повышению способности нейронной сети к обобщению. Однако, чрезмерное увеличение данного параметра, способно оказать и негативное влияние на качество получаемых с помощью соответствующей нейронной сети решений. Использование слишком малых значений ширины радиальных базисных функций, с другой стороны, может существенно снизить обобщающую возможность проектируемой нейронной сети, и способно привести к ситуации, когда нейронная сеть станет чувствительной к помехам, шумам, присутствующим в обучающей выборке.

2.2.1 Метод *p*-ближайших соседей (*p-nearest neighbor*)

В простейшем случае для нахождения ширины радиальных базисных функций может быть использован метод p-ближайших соседей (*p*-nearest neighbor) [8]. Схема расчета значений σ_i следующая:

1. Выбирается число p и для центра рассматриваемого кластера находится p ближайших центров кластеров C_j, $j = \overline{1, p}$.

2. Вычисляется среднее расстояние между центром i-го кластера, для которого определяется ширина базисной функции, и p центрами определенными на шаге 1.

Такой метод определения ширины радиальной базисной функции позволяет гарантированно получить пересекающиеся базисные функции.

2.2.2 Метод *p*-ближайших соседей с учетом принадлежности к классу

Данный метод позволяет учитывать принадлежность паттернов кластера, для которого настраивается параметр ширины радиальной базисной функции, определенному классу [3]. Параметр σ_i радиальной базисной функции R_i вычисляется с помощью алгоритма *p*-ближайших соседей в случае, если p ближайших (в смысле расстояния до их центров) кластеров относятся к тому же классу, что и кластер, определяющий R_i. В противном случае для вычисления параметра ширины σ_i радиальной базисной функции R_i используется простая оценка стандартного отклонения, рассчитанная с учетом всех паттернов, относящихся к i-му кластеру. Использование такого смешанного критерия позволяет, теоретически, повысить обобщающую способность нейронной сети во «внутренних» областях каждого из классов, благодаря гарантированному пересечению соответствующих радиальных базисных функций.

2.2.3 Обобщенный двухкритериальный подход

Очевидно, что параметр ширины радиальной базисной функции должен быть выбран таким образом, чтобы минимизировать пересечение функций, соответствующих различным классам, и с другой стороны обеспечивать приемлемый уровень обобщающей возможности сети. Для обеспечения этих двух свойств может быть использован обобщенный двухкритериальный подход. В данном подходе используются формализованная процедура выбора ширины базисной функции, которая опирается на два критерия - критерий большинства (majority criteria) и критерий пересеченности (overlapping criterion) которые позволяют учитывать не только различие между классами, но и внутриклассовые распределения исходных данных [9].

3. Численные эксперименты

3.1 Описание тестовых задач

Для проведения численных экспериментов с целью определения эффективных параметров рассмотренных алгоритмов построения нейронных сетей с радиальными базисными функциями был сформирован пул задач классификации. Описание тестовых задач приведено

в таблице 1. наборы данных взяты из UCI Machine Learning Repository [10]. Данные тестовые задачи и соответствующие наборы данных широко используются для оценки эффективности алгоритмов классификации.

Таблица 1 - Описание тестовых наборов данных

№	Наименование набора данных	Общий объем выборки	Количество атрибутов
1	Iris	150	4
2	Wine	178	13
3	Glass	214	10
4	Credit Australia-1	690	14
5	Credit Germany	1000	20
6	Liver Disorder	345	6
7	KDD Cup'99	4000000	42

Для некоторых методов, имеющих настраиваемые параметры, независящие явно от распределения точек наблюдений в выборках решаемой задачи, в ходе предварительного тестирования подбирались значения соответствующих настроек.

3.2 Описание исследуемых параметров

Так как эффективность алгоритмов исследовалась на задачах классификации, то в качестве критерия эффективности алгоритмов использовалась оценка доли верно классифицированных примеров из тестовой выборки, рассчитываемая по следующей формуле:

$$P = \frac{\textit{Число верно классифицированных примеров тестовой выборки}}{\textit{Общее число примеров в тестовой выборке}} \cdot 100\% \qquad (1)$$

3.3 Описание методологии проведения вычислительных экспериментов

Исследование эффективности рассмотренных подходов состояло в проведении серии экспериментов и статистической оценки получаемых результатов.

При проведении экспериментов использовалась следующая схема: общее число серий экспериментов для каждого исследуемого метода составляло 10, в каждой серии экспериментов оценка формуле (1) рассчитывались пять раз. Таким образом, общее количество проведенных запусков для оценки эффективности каждого из подходов составило 50.

При этом в каждой серии экспериментов выполнялось новое случайное разделение выборки на обучающую и тестовую в соотношении 66% и 34% от исходной выборки. Для проверки статистической значимости результатов проводилась проверка методом ANOVA при уровне значимости 0,05.

3.4.1 Решение тестовых задач 1-7

Для тех методов, которые предполагают указание числа нейронов на скрытом слое сети с радиальными базисными функциями, эксперименты проводились с изменением соответствующего параметра в пределах от 5 до 10 и выбирался лучший результат. Для методов не требующих явного указания соответствующего параметра, верхняя граница для него устанавливалась в значение 10 (генетический алгоритм, ройный алгоритм). При использовании метода *p*-ближайших соседей значение *p* принималось равным 2.

Анализ результатов статистических исследований показал, что ни один из рассмотренных алгоритмов не обеспечивает статистически значимого преимущества на всех задачах из рассматриваемого набора. При этом получаемые результаты сравнимы с результатами получаемыми другими подходами, не относящимися к так называемым коллективным подходам [11].

Таблица 2 - Результаты решения тестовых задач 1-6

Методы проектирования сети		**Номер тестового набора данных**					
Метод размещения центров РБФ	**Метод определения ширины РБФ**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
K-means	*p*-ближайших соседей	92,9	91,9	91,4	77,6	67,0	64,6
K-means с учетом принадлежности к классу	*p*-ближайших соседей с учетом принадлежности к классу	96,6	97,1	93,1	82,4	72,5	66,8
Нечеткая кластеризация	Обобщенный двухкритериальный подход	92,5	92,4	96,2	79,0	72,9	66,2
Конкурентное обучение со штрафом сопернику	Обобщенный двухкритериальный подход	97,6	95,8	96,4	81,6	72,6	66,7
Генетический алгоритм		98,8	97,1	94,5	80,2	72,5	67,4

Статистически хуже на 4 из 6 рассматриваемых задачах оказались результаты для «традиционного» подхода, состоящего из методов *k*-means и *p*-ближайших соседей. Среди остальных исследованных методов можно выделить хорошие результаты эволюционных подходов, позволяющих в среднем обеспечить не меньшую надежность классификации при отсутствие необходимости априорного задания или явного перебора числа скрытых нейронов сетей.

3.4.2 Решение задачи обнаружения инцидентов информационной безопасности

Для сравнения эффективности предлагаемого похода с другими известными алгоритмами, применяемыми для решения подобных задач, был проведен ряд дополнительных экспериментов с целью определения эффективности альтернативных подходов на задаче, в основе которой лежит набор данных KDD Cup’99 [12]. Для обучения нейронных сетей и настройки их параметров выборка была разбита в следующем соотношении: 67% записей использовалось в качестве обучающей выборки, оставшиеся 33% использовались в качестве экзаменующей. В качестве альтернативных подходов были рассмотрены и реализованы следующие методы: одиночная нейронная сеть с архитектурой многослойный персептрон, деревья решений, построенные методом C4.5, байесовский классификатор, алгоритм классификации на основе гиперсфер. В качестве критериев эффективности рассматриваемых подходов использовались оценки вероятности ошибок первого и второго рода.

Таблица 3 - Результаты статистических исследований эффективности алгоритмов на наборе данных KDD Cup’99

	Многослойный персептрон	Деревья решений	Байесовский классификатор	Алгоритм гиперсфер	Нейронная сеть с радиальными базисными функциями
Оценки для задачи обнаружения и классификации нескольких видов атак	0,818/0,007	0,796/0,011	0,862/0,117	0,810/0,010	0,902/0,018
Оценки для задач обнаружения отдельных атак Probe и DoS	0,862/0,004	0,806/0,009	0,839/0,012	0,821/0,006	0.852/0,011

Полученные результаты показывают, что при попытке классификации всех видов атак одновременно более высокие результаты демонстрирует, основанный на использовании нейронных сетей с радиальными базисными функциями. Для задачи классификации отдельных типов сетевых атак в среднем чуть лучшие результаты демонстрирует подход,

использующий расширенный набор активационных функций. Поэтому предлагается использовать в дальнейшем коллективы искусственных нейронных сетей, включающие в себя как искусственные нейронные сети различного типа.

Заключение

Несмотря на относительную простоту структуры и набора параметров нейронной сети с радиальными базисными функциями по сравнению, например, с нейронной сеть типа имеющей архитектуру многослойного персептрона, задача выбора структуры и настройки весовых коэффициентов таких сетей не так уж и проста. Качество ее решения, а следовательно, и эффективность работы нейронной сети в целом существенно зависит от характеристик распределения наблюдений в исходных выборках задачи и в наиболее сложных случаях, применение «обычных» методов проектирования структуры скрытого слоя не способствует получению максимально эффективной структуры сети с точки зрения решаемой задачи. Направлением, характерным для современного состояния исследований в данной области, является разработка и внедрение таких методов, которые позволили бы строить и обучать нейронные сети в автоматизированном режиме. Для рассмотренных нейронных сетей с радиальными базисными функциями предполагается автоматизированный выбор количества нейронов на скрытом слое, обеспечивающего, по возможности, требуемые параметры функционирования сети. В этой вязи актуальными становится вопрос о настройки параметров самих этих методов, который частично может быть решен за счет использования самонастраивающихся алгоритмов и тесовых прогонов на некотором множестве задач.

В целом, перспективным видится не просто разработка методов проектирования нейронных сетей с радиальными базисными функциями, но и проработка алгоритмов их интеграции в коллективы (ансамбли) интеллектуальных информационных технологий, с целью повышения эффективности решения таких сложных задач, как например задачи обнаружения инцидентов информационной безопасности в компьютерных сетях. Часто коллективы интеллектуальных информационных технологий, в состав которых входят разнотипные индивидуальные решения, способны к получению решений, существенно более качественных, в смысле решаемой задачи. Это, однако, не отменяет высоких требований к качеству решения задачи индивидуальными классификаторами, а как доказывают результаты проведенных численных экспериментов, нейронные сети с радиальными базисными функциями позволяют достаточно эффективно решать задачи классификации. Следовательно, они могут быть использованы при построении коллективных или коллективно-распределенных систем обнаружения инцидентов информационной безопасности, что видится перспективным направлением развития технологий анализа данных в этом направлении.

Список литературы

1. *Chen S., Cowan C. F. N., Grant P. M.* Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks //Neural Networks, IEEE Transactions on. – 1991. – Т. 2. – №. 2. – С. 302-309.
2. *Kurban T., Beşdok E.* A comparison of RBF neural network training algorithms for inertial sensor based terrain classification //Sensors. – 2009. – Т. 9. – №. 8. – С. 6312-6329.
3. *Bruzzone L., Prieto D. F.* A technique for the selection of kernel-function parameters in RBF neural networks for classification of remote-sensing images //Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on. – 1999. – Т. 37. – №. 2. – С. 1179-1184.
4. *Jain A. K.* Data clustering: 50 years beyond K-means //Pattern Recognition Letters. – 2010. – Т. 31. – №. 8. – С. 651-666.
5. *Sulaiman S. N., Isa N. A. M.* Adaptive fuzzy-K-means clustering algorithm for image segmentation //Consumer Electronics, IEEE Transactions on. – 2010. – Т. 56. – №. 4. – С. 2661-2668.
6. *Xie J. Y. et al.* Improvement rival penalized competitive learning algorithm based on pattern distribution of samples //Journal of Computer Applications. – 2012. – Т. 3. – С. 015.
7. *Goldberg, D.E.* Genetic algorithms in search, optimization and machine learning [Text] / D.E. Goldberg. - Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
8. *Moody J., Darken C. J.* Fast learning in networks of locally-tuned processing units //Neural computation. – 1989. – Т. 1. – №. 2. – С. 281-294.
9. *Er M. J. et al.* Face recognition with radial basis function (RBF) neural networks //Neural Networks, IEEE Transactions on. – 2002. – Т. 13. – №. 3. – С. 697-710.
10. *Frank A., Asuncion A.* UCI Machine Learning Repository [http://archive. ics. uci. edu/ml]. Irvine, CA: University of California //School of Information and Computer Science. – 2010. – Т. 213.
11. *Bukhtoyarov V., Semenkin E.* Evolutionary Three-Stage Approach for Designing of Neural Networks Ensembles for Classification Problems //Advances in Swarm Intelligence. – Springer Berlin Heidelberg, 2013. – С. 467-477.
12. *Tavallaee M. et al.* A detailed analysis of the KDD CUP 99 data set //Proceedings of the Second IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defence Applications 2009. – 2009.

05.13.06

В.А. Завьялов, В.А. Величкин, Р.С. Ульянов, И.А. Шиколенко

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
Москва, vazav.mgsu@mail.ru, velyvol@mail.ru, roman-prog@mail.ru, zugrik@mail.ru

ДОСТИЖЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОХОЖДЕНИЯ ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НА БАЗЕ АВТОМАТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ СИД

В статье рассмотрена возможность достижения оптимального прохождения фотобиологических процессов, за счет применения концепции освещения на базе автоматически управляемых светоизлучающих диодов (СИД). Представлено описание прототипа излучающего устройства. Приведены сравнительные характеристики различных источников излучения, сделаны выводы об актуальности применения описываемой концепции.

Ключевые слова: *Концепция освещения, автоматическое управление, фотобиологические процессы, светодиод.*

Современные тенденции развития изменяют условия существования человека [1]. Одним из важных факторов, оказывающих воздействие на организм человека, является излучение оптического диапазона [6]. В настоящее время искусственное освещение по своим спектральным характеристикам существенно отличается от естественного освещения. В связи с этим, при существующем искусственном освещении невозможно обеспечить нормальный ход фотобиологических процессов, важных для функционирования организма человека. Кроме того, из-за неприспособленности организма к спектру излучения некоторых искусственных источников освещения, искусственное освещение может оказывать негативное влияние на его здоровье.

Например, было установлено, что интенсивное излучение синеного спектра с пиком в диапазоне волн от 460 до 480 нм может привести к повреждению сетчатки глаза человека, в особенности детей [5]. В указанном выше диапазоне волн находится максимум спектральной чувствительности фоторецепторов глаза человека, которые влияют на выработку в организме человека мелатонина [4], который регулирует жизненные процессы в организме. Отклонение от естественной нормы приводит к возникновению негативных последствий для общего здоровья человека и его функциональных возможностей. Выработка мелатонина организмом человека в зависимости от условий освещенности изменяется не только в течение суток, но также в зависимости от времени года и географического положения [3].

Получившие в последнее время широкое распространение осветительные приборы созданные базе СИД холодного белого света, могут оказывать негативное воздействие на организм человека [2]. Следовательно, можно сделать вывод о необходимости создания принципиально новой системы освещения, способной обеспечить оптимальное протекание фотобиологических процессов.

Для создания управляемого освещения близкого, по своим спектральным характеристикам, к естественному освещению была разработана концепции системы освещения помещений с автоматическим управлением на базе светодиодов (далее Концепция) [9].

Концепция предполагает оснащение помещения светодиодными излучающими модулями в различном исполнении, позволяющем обеспечить базовый уровень освещения в помещении, а также индивидуальное регулирование параметров освещении в определенных зонах помещения. Возможность достижения оптимального для человека освещения для каждой индивидуальной зоны, может оказать положительное воздействие на людей,

постоянно пребывающих в данном помещении показана, в работе [8].

Коллективом авторов статьи был проведен анализ актуальности данной концепции [10] и апробация некоторых её положений. В частности, возможность достижения с помощью управляемого излучения СИД определенных фотобиологических процессов у растительных организмов [11]. Для создания системы автоматического управления освещением была разработана следующая структура светоизлучающего модуля (рис. 1).

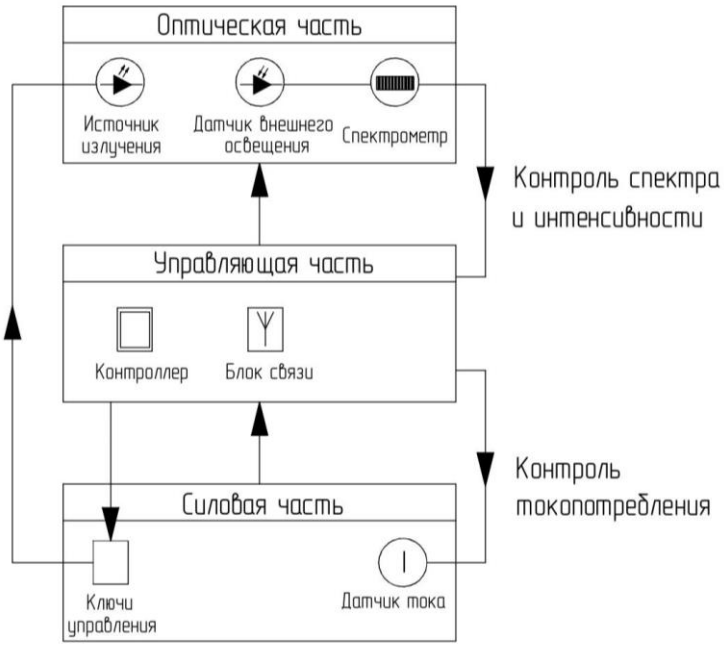


Рис. 1 — Структурная схема прототипа.

Конструктивно устройство состоит на нескольких частей. Силовая часть устройства служит для обеспечения электрической энергией других модулей устройства. Управляющая часть устройства состоит из контроллера и радиоканального блока связи. Контроллер выполняет функции регулятора и контрольно-измерительного прибора. Блок связи служит для наладки системы и синхронизации модуля с другими устройствами. Оптическая часть устройства состоит из блока светодиодов, в который входят СИД различных оттенков белого света, а также монохроматические СИД. Достижение заданных параметров излучения достигается включением/отключением отдельных СИД и управлением мощностью излучения с помощью ШИМ регулирования [12]. Помимо блока светодиодов в оптическую часть также входят датчик внешнего освещения и спектрометр. Датчик внешнего освещения определяет наличие и интенсивность внешнего освещения. Спектрометр предназначен для определения спектральной характеристики освещения в помещении. В качестве дополнительного канала управления, в зависимости от конфигурации системы освещения, используется сигнал от центрального управляющего устройства или сигнал от управляющего устройства, созданного на базе распределенной вычислительной сети. На устройства был произведен сравнительный анализ спектральных характеристик естественного и искусственного излучения. На рис. 2 показаны спектральные характеристики освещения. Для удобства анализа данных значения приведены в относительных величинах.

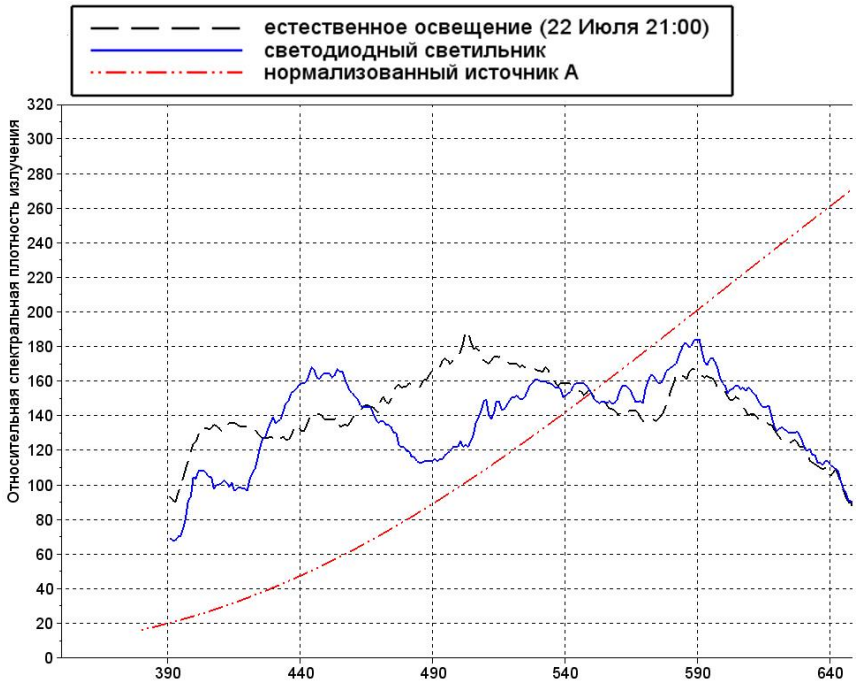


Рис. 2 — Спектральная плотность излучения источников.

Излучение устройства по своим спектральным характеристикам во многом сходно с естественным освещением. Сравнительный анализ названных выше источников излучения, с нормализованным источником излучения, спектральная характеристика которого идентична усредненным показателям лампы накаливания показывает, что спектральная характеристика лампы накаливания имеет большое расхождение с характеристикой естественного освещения.

На основании проведенных исследований было установлено, что реализация разработанной концепции в позволяет обеспечить оптимальное протекание фотобиологических процессов живых организмов за счет соблюдения циркадных ритмов организма. Это достигается при помощи искусственного освещения, максимально приближенного к естественному, а также за счет достижения параметров излучения, исключающих вредное воздействие. Применение разработанной концепции актуально как для создания искусственного освещения в замкнутой среде с ограниченным доступом к естественному освещению, так и для обеспечения искусственного и совмещенного освещения производственных, жилых и общественных зданий [7].

Список литературы

1. *Агаджанян Н.А.* Экология человека – М.: Знание, 1987. – 96 с.
2. *Аладов А.В., Закгейм А.Л., Мизеров М.Н., Черняков А.Е.* О биологическом эквиваленте излучения светодиодных и традиционных источников света с цветовой температурой 1800–10000 К // СВЕТОТЕХНИКА – 2012 №3 С. 5-27
3. *Анисимов В.Н., Виноградова И.А.* Старение женской репродуктивной системы и мелатонин. - СПб.: Издательство «Система», 2008. С. 13-16
4. *Бижак Г., Кобав М.Б.* Спектры излучения светодиодов и спектр действия для подавления секреции мелатонина // СВЕТОТЕХНИКА – 2012 №3 С. 11-16
5. *Зак П.П.*, Островский М.А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков // СВЕТОТЕХНИКА – 2012 №3 С. 4-6
6. *Потапенко А.Я.* Действие света на человека и животных // СОЖ, №10, С. 13-21, 1996.
7. *Прокопьев С.В., Ульянов Р.С., Шиколенко И.А.* Применение светодиодных светильников с автоматическим управлением для организации совмещенного освещения в помещениях жилых и общественных зданий // Молодой учёный – 2013 – №3 – С. 108-111.
8. *Розовский Е.И.* Результаты исследований: освещение, благоприятное для окружающей среды и работы организаций // «СВЕТОТЕХНИКА» – 2012 Вып. 2 С. 78-80.
9. *Ульянов Р.С., Завьялов В.А.* Концепция системы освещения помещений с автоматическим управлением на базе светодиодов // Молодой учёный – 2013 – №3 – С. 108-111.
10. *Ульянов Р.С., Завьялов В.А.* Анализ актуальности концепции системы освещения помещений с автоматическим управлением на базе светодиодов // «Молодежный научный форум: Технические и математические науки»: материалы I студенческой международной заочной научно -практической конференции. (27 Марта 2013 г.) — Москва: Изд. «Международный Центр Науки и Образования», 2013. — С. 44-50.
11. *Ульянов Р.С., Завьялов В.А.* Апробация принципов концепции системы освещения помещений, на базе светодиодов с автоматическим управлением, в случае отсутствия внешнего воздействия на систему // Теория и практика современной науки [Текст] : материалы X Международной научно-практической конференции, г. Москва, 27–28 июня 2013 г. / Науч.-инф. издат. центр «Институт стратегических исследований». – Москва : Изд-во «Спецкнига», 2013. — 4 С. 114-123.
12. *Шиколенко И.А., Завьялов В.А.* Применение ШИМ в регулировании освещенности рабочего места. // Молодой ученый – 2013. – № 3. – С. 122-125

05.13.06

В.А. Завьялов, В.А. Величкин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ ВПО "МГСУ")
Национальный исследовательский университет,
Москва, vazav@mgsu.ru, velyvol@mail.ru

КОМПЕНСАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ ДВИЖЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА

В работе представлены результаты исследования системы с колебательным объектом управления и микропроцессорным управляющим устройством, реализующим пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон регулирования. Исследования показали, что при известной математической модели объекта управления и при соответствующей настройке управляющего устройства можно добиться требуемого качества движения системы автоматического управления (САУ).

Ключевые слова: *колебательные объекты управления, микропроцессорные управляющие устройства, законы регулирования, качество движения САУ.*

Современная доктрина теории автоматического управления гласит, что управляющее устройство должно строиться с учетом свойств объекта управления.

Свойства множества объектов управления, обладающих колебательностью, с достаточной степенью точности можно характеризовать передаточной функцией второго порядка (1).

$$W_o(p) = \frac{K_o(T_1 p + 1)}{(T_2^{\,2} p^2 + 2\xi T_2 p + 1)}, \qquad (1)$$

где K_o - коэффициент передачи объекта; T_1 - степень форсажа; T_2 - постоянная времени, характеризующая инерционность объекта управления; ξ - декремент затухания колебательного процесса в объекте управления.

В настоящее время для управления технологическими процессорами и аппаратами часто применяются свободно программируемые микропроцессорные контроллеры. Эти контроллеры позволяют на единой платформе организовать достаточно сложную структуру управляющего устройства (регулятора).

Сложность структуры регулятора определяется свойствами объекта управления и целью управления. Таким образом, при построении регулятора необходимо иметь передаточную функцию объекта управления и целевую функцию управления.

Пусть объект управления характеризуется передаточной функцией (1), а целевая функция представляет собой систему показателей качества управления:

$J_1 = e_{уст} \le e_{уст.доп}$ - установившаяся ошибка;

$J_2 = \sigma \le \sigma_{доп}$ % - перерегулирование;

$J_3 = T_П \to T_{П\,доп}$ - время переходного процесса.

Кроме того, необходимо учитывать ограничения на переменные управления ($N \le N_{max}$), поскольку в технологии всегда ограничена мощность управляющего воздействия.

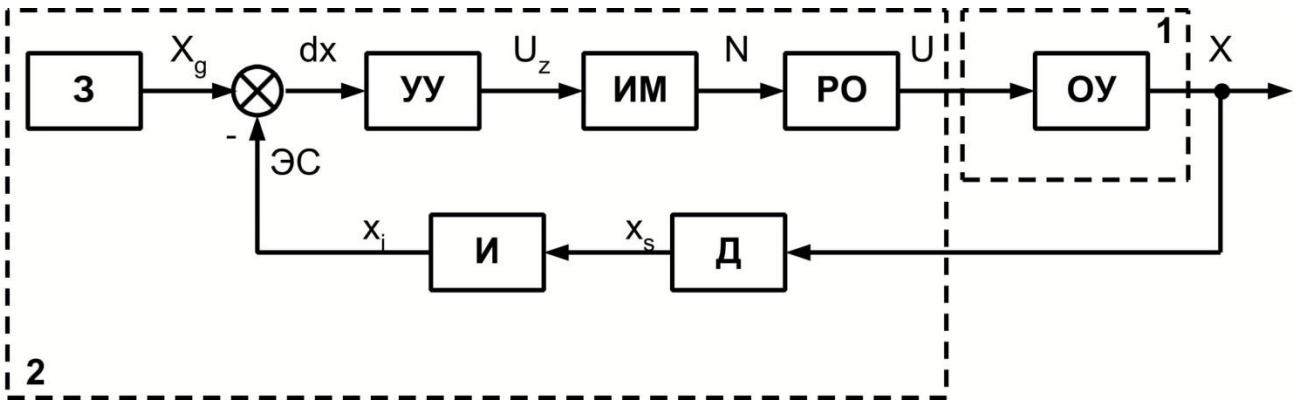


Рис. 1. Структура САУ: 1 - управляемая часть; 2 - управляющая часть

Как известно, всякая замкнутая одноконтурная система управления включает в свой состав объект управления (ОУ), датчик (Д), измеритель (И), задатчик (З), элемент сравнения (ЭС), управляющее устройство (УУ), исполнительный механизм (ИМ) и регулирующий орган (РО). Структура системы автоматического управления (САУ) может быть представлена как на рис. 1.

Для синтеза структуры и определения параметров передаточной функции регулятора необходимо знание передаточных функций остальных элементов САУ.

Объект управления разрабатывается технологами, а его передаточную функцию приходится определять разработчику САУ самостоятельно. Другие элементы САУ создаются специалистами по разработке средств автоматики и их передаточные функции (кроме регулятора) известны проектировщику априори.

Передаточные функции датчика и измерителя подбираются так, чтобы можно было согласовать сигнал выходной переменной объекта управления с сигналом задатчика. При применении микропроцессорных средств управления эти сигналы должны изменяться в пределах: 0 - 10 В; 0 - 5 ма; 4 - 20 ма. Эти измерительные средства выбирают таким образом, чтобы их общую передаточную функцию можно было бы характеризовать статическим звеном с передаточной функцией $W_{ди} = K_д \cdot K_{из} = K_{ди}$.

Передаточная функция регулирующего органа $W_{ро} = K_{ро}$ также может быть представлена статическим звеном, коэффициент передачи которого должен обеспечить достаточно мощное управляющее воздействие на объект управления при максимальном положении исполнительного механизма. Передаточные функции перечисленных звеньев целесообразно объединить с передаточной функцией объекта управления. Тогда общая передаточная функция примет вид:

$$W_{РОДИ}(p) = W_{РО} \cdot W_О \cdot W_Д \cdot W_{ИЗ} = \frac{K_{РО} \cdot K_О \cdot K_Д \cdot K_{ИЗ} \cdot (T_1 p + 1)}{(T_2^2 p^2 + 2\xi T_2 p + 1)} = \frac{K_{РОДИ} \cdot (T_1 p + 1)}{(T_2^2 p^2 + 2\xi T_2 p + 1)}. \quad (2)$$

Исполнительный механизм реализуется на пневматических, гидравлических или электрических устройствах и его входная переменная должна изменяться (как правило) в пределах 0 - 10 В, выходная - в пределах достаточных для перемещения регулирующего органа от минимального до максимального положений. Передаточная функция ИМ представляется реальным интегрирующим звеном

$$W_{ИМ}(p) = \frac{K_{ИМ}}{p(T_{ИМ} p + 1)}. \quad (3)$$

С учетом сделанных замечаний структурную схему САУ можно представить в виде, показанном на рис. 2.

Для повышения устойчивости системы целесообразно исполнительный механизм охватить отрицательной обратной связью и использовать интегрированный составной регулятор (рис. 3).

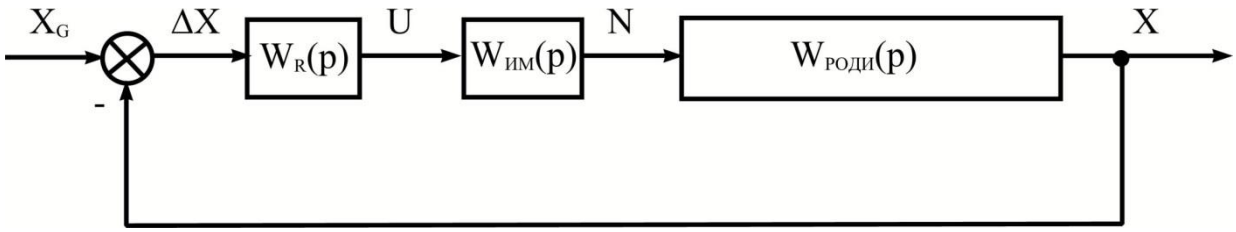


Рис. 2. Преобразованная структура САУ

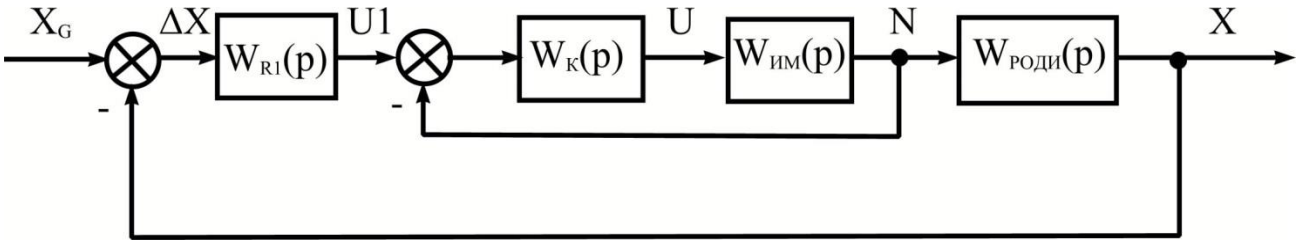


Рис. 3. САУ с составным регулятором

Если $W_K(p) = K$ (пропорциональное звено), то передаточная функция второй части регулятора имеет вид

$$W_{R2}(p) = \frac{K \cdot K_{ИМ} / p(T_{ИМ} p + 1)}{1 + K \cdot K_{ИМ} / p(T_{ИМ} p + 1)} = \frac{1}{\frac{T_{ИМ}}{K \cdot K_{ИМ}} p^2 + \frac{1}{K \cdot K_{ИМ}} p + 1}. \quad (4)$$

Коэффициент передачи (К) второй части регулятора выбирается так, чтобы ее передаточная функция не обладала колебательностью. В этом ее случае передаточную функцию можно представить в следующем виде

$$W_{R2}(p) = \frac{1}{(T \cdot T_1) p^2 + (T + T_1) p + 1}, \quad (5)$$

где T_1 - первая постоянная времени равная степени форсажа объекта управления; Т - неизвестная вторая постоянная времени, зависящая от величины коэффициента К.

Тогда можно получить следующие равенства

$$T \cdot T_1 = \frac{T_{ИМ}}{K \cdot K_{ИМ}}; T + T_1 = \frac{1}{K \cdot K_{ИМ}}. \quad (6)$$

Из равенств (6) можно составить уравнение

$T \cdot T_1 = T \cdot T_{ИМ} + T_1 \cdot T_{ИМ}$.

Из этого уравнения следует, что

$$T = \frac{T_1 \cdot T_{ИМ}}{T_1 - T_{ИМ}}. \quad (7)$$

Коэффициент передачи (К) второй части регулятора можно определить из выражений (6) и (7)

$$K = \frac{(T_1 - T_{ИМ})}{K_{ИМ} \cdot T_1^2}. \quad (8)$$

С учетом выражения (5) передаточная функция разомкнутой системы приобретает вид

$$W_C^{РАЗ}(p) = \frac{K_{РОДИ} \cdot W_{R1}}{(Tp + 1)(T_2^2 p^2 + 2\xi T_2 p + 1)}.$$

203

Для синтеза САУ с необходимыми свойствами в этом случае целесообразно использовать ПИД-регулятор с передаточной функцией

$$W_{R1} = \frac{K_И (\frac{K_Д}{K_И} p^2 + \frac{K_П}{K_И} p + 1)}{p}. \quad (9)$$

Для понижения порядка передаточной функции САУ коэффициенты передачи ПИД-регулятора выбираются так, чтобы $K_Д/K_И = T_2^2$; $K_П/K_И = 2\xi T_2$.

В этом случае передаточная функция разомкнутой САУ приобретает вид

$$W_C^{РАЗ}(p) = \frac{K_И \cdot K_{РОДИ}}{p(Tp+1)}.$$

Замкнутая САУ в этом случае имеет вид передаточной функции апериодического звена второго порядка

$$W_C(p) = \frac{K_И \cdot K_{РОДИ} \cdot (T_1 p+1)/[p \cdot (Tp+1)]}{1+K_И \cdot K_{РОДИ} \cdot (T_1 p+1)/[p \cdot (Tp+1)]} = \frac{(T_1 p+1)}{\frac{T}{K_И \cdot K_{РОДИ}} p^2 + \frac{(1+K_И \cdot K_{РОДИ} \cdot T_1)}{K_И \cdot K_{РОДИ}} p+1}. \quad (10)$$

Коэффициент передачи интегрирующей части ($K_И$) ПИД-регулятора выбирается из условия минимума длительности переходного процесса, отсутствия колебательности и допустимой мощности управления. Как видно из выражения (10), в системе установившаяся ошибка $e_{уст} = 0$ и первый показатель качества САУ достигнут. Известно, что апериодическое звено любого порядка не обладает колебательностью. Таким образом, можно выполнить второе и третье требования к качеству САУ.

05.11.14

С.Н. Зайцев

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
факультет приборостроения,
кафедра инновационные технологии в приборостроении, микро- и оптоэлектронике (ПР-6),
Москва, zaitsev88@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДА МАЛЫХ ФЛЮЕНСОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ СВЕТОДИОДОВ

Исследована партия светодиодов из фосфида галлия до и после нейтронного облучения. Определена константа повреждаемости времени жизни. Разработан неразрушающий экспресс - метод оценки радиационной стойкости светодиодов при использовании малых флюенсов облучения на примере светодиодов из фосфида галлия (GaP).

Ключевые слова: *разработка метода, светодиод, фосфид галлия, сила света, доза (флюенс), константа повреждаемости времени жизни.*

Введение

При работе в бортовой аппаратуре, космических объектах, ядерной энергетике важную роль играет радиационная стойкость приборов и аппаратуры. На сегодняшний день светодиоды являются одним из перспективных направлений в оптоэлектроники и светотехники.

Важную роль играет контроль и оценка радиационной стойкости приборов, применяемых в спецтехнике. Она определяется функциональной зависимостью электрических и светотехнических характеристик от флюенса (дозы) облучения и константой повреждаемости времени жизни (величиной произведения $\tau_0 K$). Последняя большинством исследователей оценивалась по снижению силы света при облучении при фиксированном напряжении на светодиоде. Однако, как правило, светодиоды работают при заданном токе и не в том интервале токов и напряжений, в котором исследовалась радиационная деградация.

Целью настоящей работы является разработка метода малых флюенсов для контроля радиационной стойкости светодиодов.

Исследуемые структуры и режимы облучения

Светоизлучающие структуры для макетов и серийных светодиодов были получены последовательной эпитаксией двух слоев фосфида галлия на легированную теллуром подложку GaP, выращенную по методу Чохральского. Первый слой n-типа был легирован теллуром до уровня $(3\text{-}7)\cdot10^{17}$ см$^{-3}$, а второй – цинком до уровня $(2\text{-}5)\cdot10^{17}$ см$^{-3}$ и кислородом до концентрации $(1\text{-}10)\cdot10^{16}$ см$^{-3}$. Исследовалось воздействие облучения как на серийные светодиоды в корпусе, так и на эти же светодиоды без металлостеклянного колпачка на металлическом кристаллодержателе. Величина силы света у них несколько различилась, в то время как относительное снижение (I_V/I_{V0}) при облучении было практически одинаковым. По силе света светодиоды были разделены на две группы: сравнительно эффективные с силой света 1,0 – 1,5 мкД в корпусе (0,6 – 0,8 мкД без корпуса) при токе 10 мА были отнесены к первой группе, а менее эффективные, с силой света 0,3 – 0,4 мкД в корпусе (0,2 – 0,3 мкД без корпуса) – ко второй группе. Светодиоды облучали нейтронами с энергией более 0,1 МэВ и 2,65 МэВ, электронами с энергией 5 МэВ, протонами с энергией 18 и 70 МэВ и гамма квантами с энергией 1,25 МэВ.

У светодиодов до и после облучения нейтронами с флюенсами $5{,}6\cdot10^{10}$ – $1{,}2\cdot10^{15}$ н/см^2 измеряли вольт-амперные характеристики (ВАХ) и силу света в зависимости от напряжения, тока и флюенса облучения при двух значениях энергии нейтронов.

Методы определения величины константы повреждаемости времени жизни

В реальных условиях светодиоды работают при фиксированном токе, а не напряжении, и при более высоких значениях тока и напряжения, по сравнению с теми, которые обычно используются для определения константы повреждаемости. Зависимости силы света от флюенса в режиме генератора тока отличаются от аналогичных зависимостей при фиксированном напряжении. Поэтому значение величины произведения $(\tau_{0,e} K_\tau)$[3] еще не позволяет оценить изменение силы света при облучении при нормальных условиях работы светодиода. Аналитические зависимости снижения силы света с флюенсом при фиксированном токе в литературе отсутствуют. Поэтому мной теоретически и экспериментально исследована зависимость силы света от флюенса нейтронного облучения при заданном токе.

Экспериментальные кривые снижения силы света при фиксированном токе 1 мА, соответствующем экспоненциальной зависимости тока и силы света от напряжения, приведены на рис. 1 для светодиода первой и второй группы. Из приведенных кривых видно, что при заданном токе снижение силы света при облучении происходит значительно быстрее, чем при фиксированном напряжении и у коротких светодиодов первой группы (1), и в большей степени, чем у длинных светодиодов (2).

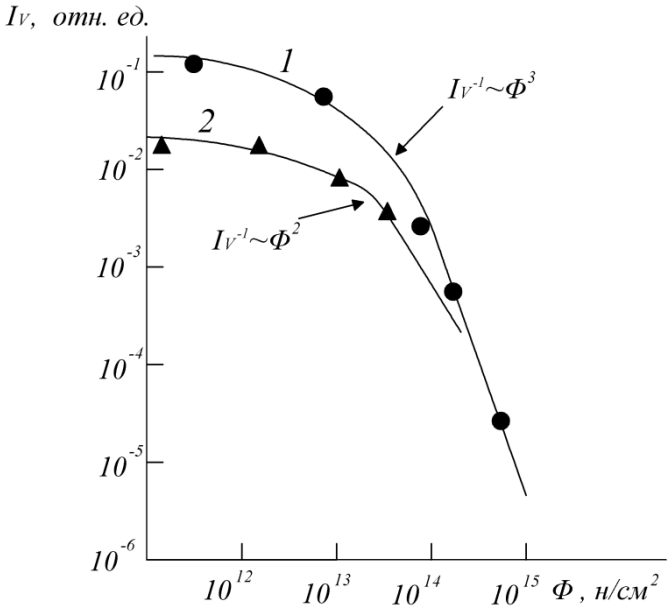


Рис. 1. Зависмость относительной силы света от флюенса нейтронного облучения при заданном токе 1 мА светодиодов первой (1) и второй (2) группы

Из приведенных кривых видно, что снижение силы света при заданном токе при облучении происходит значительно быстрее, чем при фиксированном напряжении и у более эффективных светодиодов первой группы в большей степени, чем у менее эффективных длинных второй. Подставив в выражение $I_V = A\tau_{e^2}^{\frac{n+1}{2}} \exp\left(\frac{eU}{kT}\right)$ для тока на Холловском участке ВАХ[1,2,6] с $\beta = 2{,}0$ и использовав выражения $j_{S1} = \frac{en_i L_E}{\tau_0}$; $j_{S2} = \frac{edn_i}{\tau_p}$; $j_{S3} = \frac{2e \cdot \sqrt{D_p} \cdot n_i}{\sqrt{\tau_p}}$ для «тока насыщения» «короткого» и «длинного» светодиода, получаем:

$$I_V = C^I \tau_{0,e} \tau_{0p}^2 j^2; \quad I_V = C^{II} \tau_{0,e} \tau_{0p}^2 j^2, \text{ где} \qquad (1)$$

C^I – параметры материала светодиодов 1 группы;

C^{II} - параметры материала светодиодов 2 группы;

I_V – сила света;

$\tau_{0,e}$ - время жизни электронов до облучения;

$\tau_{0,p}$ - время жизни дырок до облучения;

j - плотность тока;

Полагая, что $\tau_p^{-1} \sim \tau_e^{-1} \sim \Phi$ имеем:

$$\left(I_{V0}/I_V\right) = \left(1+\tau_{0,e}K_\tau\Phi\right)^n, \text{ где} \qquad (2)$$

I_{V0} – сила света до облучения;

$\tau_{0,e}$ - время жизни электронов до облучения;

K_τ - константа повреждения времени жизни;

Ф - флюенс (доза) облучения

где n = 3 для короткого и n = 2 для длинного светодиода.

Экспериментальные результаты, приведенные на графиках рис. 1, подтверждают расчетные зависимости. На этом рисунке сплошные линии рассчитаны по формуле (2) при $\left(\tau_{0,e}K_\tau\right)$ = $6\cdot10^{-14}$ см^2/н, точки экспериментальные.

Таким образом при токе менее 10^{-3} А зависимости $I_V(U)$ и $I_V(I)$ от флюенса могут быть описаны аналитически с использованием величины $\left(\tau_{0,e}K_\tau\right)$, которая оценивается, исходя из экспериментальных люмен-вольтных характеристик, измеренных при различных флюенсах облучения. Следует отметить, что данный метод требует проведения большого объема экспериментальных и расчетно-графических работ.

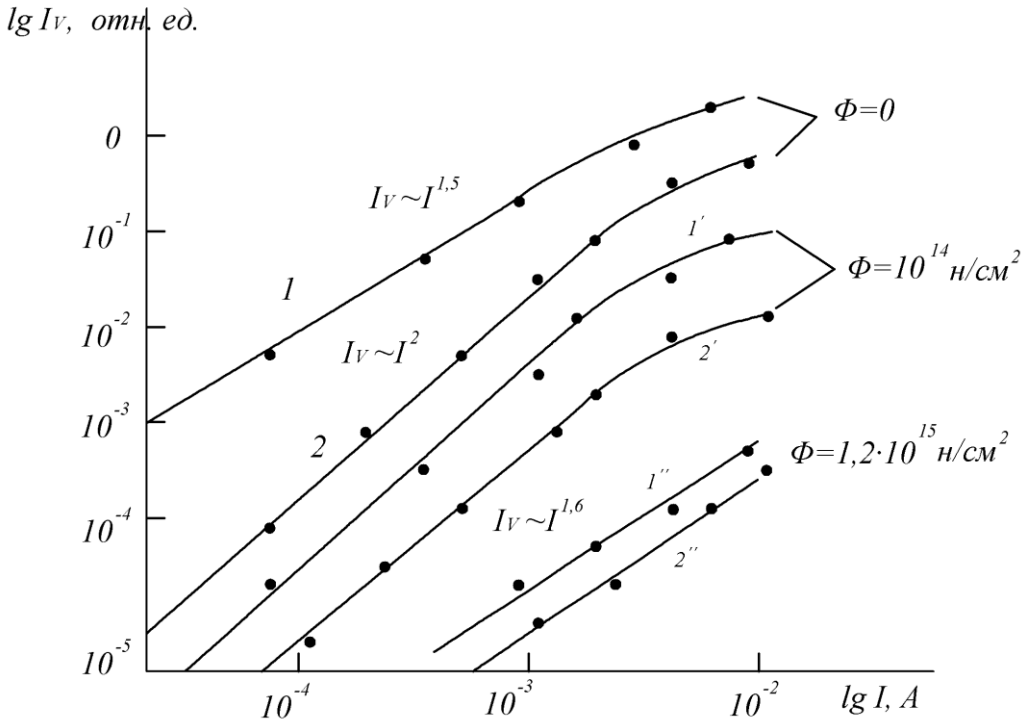


Рис. 2. Зависимость относительной силы света от тока и флюенса нейтронного облучения

Возникает естественный вопрос: насколько константы повреждаемости, рассчитанные при относительно малых токах на экспоненциальных участках I(U)- и $I_V(U)$-характеристики[4], пригодны для прогнозирования силы света при номинальном токе 10 мА. Из графиков, представленных на рис. 2, видно, что при изменении тока и облучения меняются зависимости силы света от тока и выражение (2) может быть не корректным. У эффективных светодиодов первой группы при малых токах $I_V \sim I^{3/2}$, у светодиодов второй группы $I_V \sim I^2$, а при больших токах $I_V \sim I$. При больших флюенсах $I_V(I)$-характеристики снова становятся

сверхлинейными в области номинальных токов.

С целью оценки возможной погрешности при оценке радиационной стойкости светодиодов при номинальных токах с использованием аналитических зависимостей $(I_{V0}/I_V)-1=\tau_{0,e}K_\tau\Phi$, и (2) и констант $(\tau_{0,e}K_\tau)$, определенных при токе менее 10^{-3} А, мной были проанализированы зависимости (I_{V0}/I_V) от тока после облучения с $\Phi = 4{,}7\cdot10^{13}$ н/см^2. Результаты представлены в таблице 1, соответственно для светодиодов первой (1, 2) и второй (3, 4) группы.

Таблица 1 - Зависимость отношения I_{V0}/I_V от тока после Φ - $4{,}7\cdot10^{13}$ н/см^2

№ светодиода	**I, мА**	**0,2**	**1**	**2**	**5**	**10**
1	(I_{V0}/I_V)	19,6	11,6	9,4	7,4	6,2
2	- “ -	14,4	10,9	9,2	7,1	5,9
3	- “ -	4,7	6,7	8,0	8,6	8,0
4	- “ -	4,3	6,2	7,1	7,1	6,4
	среднее	8,3	8,7	8,4	7,6	6,6

Из нее нетрудно установить, что величина отношения (I_{V0}/I_V) у светодиодов первой группы уменьшается с ростом тока и для правильной оценки относительного снижения силы света с облучением по формуле (2) в области рабочих токов величина $(\tau_{0,e}K_\tau)$ должна быть снижена в 1,7 раза. У светодиодов второй группы величина отношения (I_{V0}/I_V), напротив, растет с током, однако в меньшей степени. Минимальная относительная ошибка будет в случае изучения радиационной деградации партии светодиодов первой и второй группы, когда относительные изменения отношения (I_{V0}/I_V) почти полностью компенсируют друг друга, что иллюстрируется средними значениями (I_{V0}/I_V), приведенными в таблице 1.

Поэтому можно считать, что для партии светодиодов первой и второй группы, т.е. среднестатистически, величина $(\tau_{0,e}K_\tau)$, полученная при исследовании снижения силы света в области малых токов, позволяет правильно описать снижение силы света при облучении в области номинальных значений тока (~ 10 мА), если воспользоваться расчетной формулой (2) с n = 2,0. Это подтверждается результатами исследования радиационной деградации партии из 25 светодиодов, проведенной в широком интервале флюенсов нейтронного облучения. Результаты представлены на графиках рис. 3.

Из графика рис. 3 видно, что в интервале флюенсов 10^{14} – 10^{15} н/см^2 хорошо просматривается зависимость $(I_{V0}/I_V) \sim \Phi^2$.

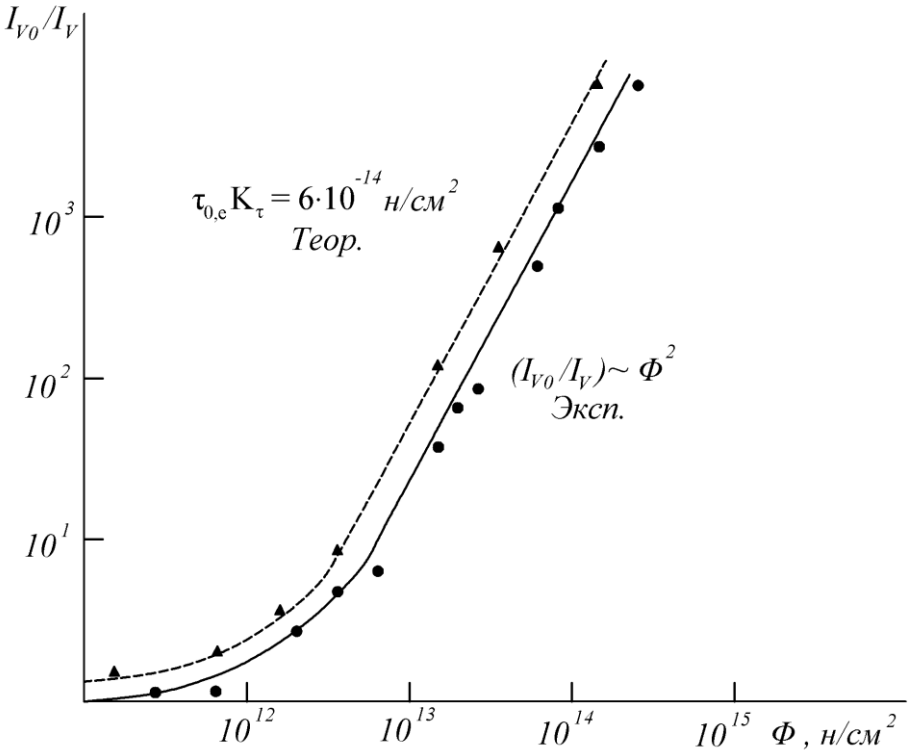


Рис. 3. Теоретическая и экспериментальная зависимости снижения силы света при облучении у партии светодиодов при номинальном токе 10 мА

Авторы [5] полагали, что она объясняется как генерацией центров безызлучательной рекомбинации, так и распадом активаторов люминесценции (Zn-O-комплексов). Однако описанные изменения ВАХ и I_V(U,I)-характеристик при облучении [4] полностью описываются в рамках одного предположения о снижении безызлучательного времени жизни, и гипотеза о распаде Zn-O-комплексов в настоящее время представляется мне излишней.

Т.к. формула (2) обоснована теоретически, подтверждена экспериментально и может быть использована для предсказания снижения силы света при заданном рабочем токе, то в дальнейшем будем считать ее основополагающей и она будет использована для расчета констант повреждения (Zn-O)-светодиодов при облучении последних протонами, электронами и гамма квантами.

Разработка метода малых флюенсов.

Выше мной были описаны методы определения величины $(\tau_{0,e}K_\tau)$ путем измерения I_V(I) и I_V(U)-характеристик при малых токах, однако, они требуют выполнения большого объема измерений, расчетов и графических работ. При облучении с большими интегральными потоками может меняться как структура светодиода, так и механизм излучательной и безызлучательной рекомбинации, а также зависимости тока и силы света от напряжения. Поэтому необходимо дополнительное обоснование возможности использования констант, полученных при малых токах в области рабочих токов.

Ниже описана впервые разработанная мной экспресс-методика определения величины $(\tau_{0,e}K_\tau)$ не только при фиксированном напряжении, но и заданном токе, включая номинальный, при малых флюенсах облучения.

В качестве основополагающей выбираем расчетную формулу (2), которая при малых флюенсах, определяемых неравенством $\tau_{0,e}K\Phi << 1$, принимает следующий вид:

$$(I_{V0}/I_V) - 1 = n\tau_{0,p}K_\tau\Phi, \qquad (3)$$

где n = 3 для светодиодов первой группы при $\Phi \le 10^{13}$ н/см^2 и n = 2 – второй группы.

В случае облучения нейтронами с энергией ≥ 0,1 МэВ при $(\tau_{0,e}K_\tau)$ = $6\cdot10^{-14}$ см^2/н, область малых флюенсов лежит в интервале $(1 – 3)\cdot10^{12}$ н/см^2, т.к. при меньших интегральных потоках изменения слишком малы и их трудно выделить на фоне погрешности измерений, а при бóльших – нарушается условие малости и линейности.

Для экспериментального обоснования данного метода определим величину $(\tau_{0,e}K_\tau)$ при нейтронном облучении. В таблице 2. приведены величины (I_{V0}/I_V) шести светодиодов после облучения флюенсами $1,0\cdot10^{12}$ и $3,1\cdot10^{12}$ н/см^2.

Рассчитанные с помощью выражения (3) величины произведения $(\tau_{0,e}K_\tau)$= $(5,2 \pm 0,3)\cdot10^{-14}$ см^2/н, что в пределах погрешности эксперимента совпадает с ранее рассчитанным значением. Однако, если прежний метод требовал проведения облучения в широком интервале флюенсов (до 10^{15} н/см^2), большого объема измерительных и расчетно-графических работ, то данный метод свободен от указанных недостатков.

Таблица 2 - Значения (I_{V0}/I_V) после малых флюенсов облучения

№ пп	I, мА	0,03	0,2	1	2	5	10	Ф, н/см^2
2.1	(I_{V0}/I_V)	1,10	1,10	1,09	1,08	1,07	1,07	$1,0\cdot10^{12}$
2.2	- “ -	1,19	1,15	1,13	1,11	1,11	1,11	
2.3	- “ -	-	1,29	1,19	1,16	1,11	1,09	
Ср.знач.		1,14	1,18	1,14	1,12	1,10	1,09	1,11
3.1	- “ -	1,40	1,41	1,38	1,33	1,27	1,23	$3,1\cdot10^{12}$
3.2	- “ -	1,47	1,42	1,33	1,33	1,28	1,26	
3.3	- “ -	1,17	1,18	1,27	1,33	1,34	1,34	
Ср.знач.		1,34	1,33	1,33	1,33	1,30	1,28	1,31

Однако необходима точная дозиметрия и измерение с высокой степенью точности относительной силы света.

Выводы

Определена константа повреждаемости времени жизни светодиодов, которая составила: $(\tau_{0,e}K_\tau)$= $(5,2 \pm 0,3)\cdot10^{-14}$ см^2/н.

Разработан, теоретически и экспериментально обоснован неразрушающий экспресс - метод оценки радиационной стойкости при использовании малых флюенсов облучения. Область малых флюенсов лежала в интервале $(1 – 3)\cdot10^{12}$ н/см^2. Полученная константа повреждаемости времени жизни с помощью разработанного метода полностью совпадает с расчётом из зависимости вольт-люмен-амперных характеристик от флюенса нейтронного облучения. Данный метод контроля является универсальным и подходит не только светодиодов из фосфида галлия, но для светодиодов из других материалов $Al_{0,33}Ga_{0,67}As$, $GaAs_{0,6}P_{0,4}$, InGaN, $(Al_XGa_{1-X})_{0,5}In_{0,5}P$.

Список литературы

1. *Абдуллаев О.Р., Кондратенко В.С., Рыжиков И.В., Виноградов В.С.* Люмен-амперные характеристики p-n*-n-структур на основе твердых растворов фосфида и нитрида галлия индия алюминия (теория)//«Вестник МГУПИ». 2009, № 21, с.95-103.
2. *Абрамов В.С., Рыжиков И.В., Щербаков В.Н.* Математическая модель светоизлучающих гетероструктур на основе твердых растворов фосфида и нитрида галлия, индия, алюминия, облученных нейтронами и гаммаквантами // Информационные технологии в науке, технике и образовании: Сб. тр. МНТК. – М.: МГАПИ, 2005. – Т.2. – С.67–78.
3. *Зайцев С.Н.* Контроль и оценка радиационной стойкости GaP-(Zn-O) светодиодов при облучении нейтронами / С.Н. Зайцев // Технические науки в России и за рубежом (II): материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2012 г.). — М.: Буки-Веди, 2012. — С. 29-34.
4. *Зайцев С.Н.* Влияние нейтронов, протонов, электронов и гамма-квантов на вольт-амперные характеристики GaP(Zn-Te(S)-N) светодиодов / С. Н. Зайцев // Молодой ученый. — 2012. — №12. — С. 67-70.
5. *Званцев А.А., Крамер-Агеев Е.А., Рыжиков И.В.* Радиационные изменения характеристик светоизлучающих p-n-переходов из фосфида галлия//Препринт МИФИ. 080-88. М. 1988.
6. *Кондратенко В.С., Абдуллаев О.Р., Рыжиков И.В., Виноградов В.С., Фирсов А.С.* Сравнительное исследование воздействия проникающей радиации на светодиоды нового поколения на основе AlGaInP и AlGaInN гетероструктур//Приборы.–2009.– № 3.–С.24-36.

05.13.01

А.А. Захаров, А.Ю. Тужилкин

Муромский институт (филиал) Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
кафедра информационных систем, г. Муром,
aa-zaharov@ya.ru, ay-tuzhilkin@ya.ru

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН НА ОСНОВЕ СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-07-97523

В работе рассматривается задача формирования структурного представления трехмерных сцен на основе видеоизображений. Формирование структуры основано на трехуровневом представлении сцены. При формировании структуры сцены используется байесовский подход. Приведен пример создания трехмерной структуры сцены.

Ключевые слова: *трехмерные сцены, видеоизображения, структурный подход, синтаксический анализ.*

Распознавание трехмерных объектов по видеоизображениям является важной задачей в таких областях, как визуальный контроль технологических процессов, человеко-машинное взаимодействие, медицинская диагностика, автономная навигации транспортных средств, видеонаблюдение в сфере безопасности и транспорта.

Методы распознавания образов принято выделять в две группы: методы на основе дискриминантного подхода и методы на основе структурного (синтаксического) подхода [2, 3]. При использовании дискриминантного подхода каждый объект описывается вектором признаков фиксированной размерности. В пространстве признаков каждому классу соответствует некоторая область. Распознавание в этом случае основано на разбиении пространства на области с использованием дискриминантных функций и отнесении объектов к какому-либо классу.

Структурные методы основаны на описании объектов в терминах их частей и отношении между этими частями. Поэтому трехмерные сцены удобно представлять в виде иерархической структуры некоторых элементов. Созданные таким образом иерархические представления сцен можно использовать для автоматического распознавания [3], трехмерной реконструкции [1, 8], определения положения и ориентации объектов в пространстве [9]. Преимуществом синтаксического подхода является то, что он позволяет описывать большое множество элементов сложной структуры на основе малого количества простых составляющих и правил формирования графической модели [3, 7, 10]. Целью работы является разработка подхода для формирования структурного представления трехмерной сцены на основе синтаксического анализа изображений.

Входными данными для построения структуры сцены является видеопоследовательность. При анализе используется описание трехмерных объектов на основе комплексной информации о форме элементов, взаимном положении примитивов в пространстве, пропорциях, яркостных характеристиках элементов сцены.

Предлагаемый подход к синтезу структуры основан на трехуровневом представлении сцены. На первом уровне сцена представлена изображениями, которые обрабатываются фильтрами для выделения двумерных элементов сцены. На втором уровне сцена описывается двумерными примитивами, выделенными на изображении. Такими примитивами могут быть отрезки прямых линий, криволинейные контуры, области однородной закраски, точки интереса. На втором уровне представления определяются

семантические связи между объектами. Такими отношениями являются топологические атрибуты: связность, соседство, пересечение, параллельность, включение.

Используя стереопару или последовательность изображений, можно реконструировать положение и форму примитивов в пространстве. На этом уровне трехмерные примитивы наследуют характеристики двумерных примитивов предыдущего уровня. Также семантические отношения между трехмерными примитивами наследуются со второго уровня. В этом случае увеличивается объем смысловых связей между примитивами за счет пространственной информации третьего уровня. Связи на третьем уровне определяются на основе признаков параллельности, перекрытия, принадлежности одной плоскости и т.д. Процесс построения иерархической структуры сцены не является строго восходящим. Для уточнения информации в процессе синтеза возможно обращение к более низким уровням представления. Пример трехуровневого представления сцены приведен на рисунке 1.

Рис 1. – Трехуровневое представление сцены

Таким образом, трехмерная сцена представляется в виде графа, в котором вершины определяют элементы изображения, а ребра – семантические отношения между частями сцены (рис. 2).

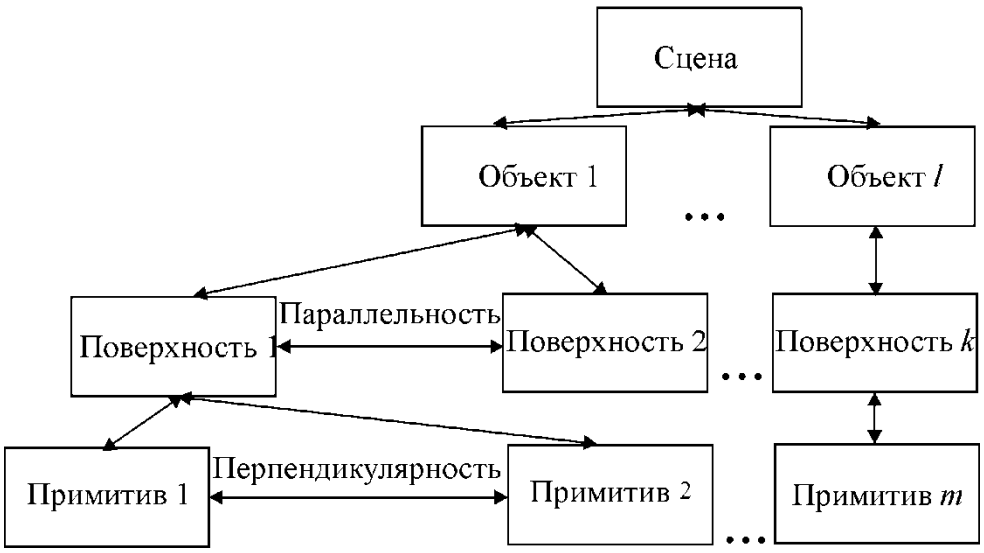


Рис 2. – Структурное представление сцены

При выделении примитивов и установлении связей между ними могут возникать некоторые неопределенности, вызванные взаимным перекрытием объектов, наличием шумовых и оптических эффектов, присутствием текстурированного фона, эффектами неравномерного освещения и т.д. Поэтому при формировании структурного представления трехмерной сцены необходимо применять наиболее вероятный вывод. В этом случае, используя условные вероятности, можно задавать степень важности свойств для определенных объектов сцены [3, 4, 5, 6].

Пусть $P(A^S)$ - вероятность наступления некоторого события A, связанного с примитивом S. Такими событиями могут быть, например, расположение примитива в некоторой плоскости, параллельность отрезков линий, сходство по цвету. Для рассматриваемой задачи необходимо вычислить вероятность появления примитива S, являющегося частью объекта O, с учетом ряда событий A_i: $P(S \in O \mid A_1^S,..., A_n^S)$. Тогда в соответствии с байесовским подходом это выражение можно представить следующим образом:

$$P(S \in O \mid A_1^S,..., A_n^S) = \frac{P(A_1^S,\ldots, A_n^S \mid S \in O)P(S \in O)}{P(A_1^S,\ldots, A_n^S \mid S \in O)P(S \in O) + P(A_1^S,\ldots, A_n^S \mid S \notin O)P(S \notin O))} \quad (1).$$

Предположим, что события $A_1^S,..., A_n^S$ независимы. Тогда можно записать

$$P(A_1^S,\ldots, A_n^S \mid S \in O) = P(A_1^S \mid S \in O)\cdot\ldots\cdot P(A_n^S \mid S \in O), \quad (2)$$

$$P(A_1^S,\ldots, A_n^S \mid S \notin O) = P(A_1^S \mid S \notin O)\cdot\ldots\cdot P(A_n^S \mid S \notin O). \quad (3)$$

Подставляя выражения 2 и 3 в формулу 1, упростим модель вычислений. Используя представленные выражения, для формирования структуры сцены необходимо найти априорные вероятности. Это осуществляется «вручную» с использованием набора изображений типовых сцен. В результате вычислений выбирается структура объекта, которой соответствует максимум апостериорной вероятности.

Таким образом, в работе предложен подход формирования структуры трехмерной сцены в виде графа. Узлами графа являются трехмерные объекты и примитивы, а ребрами семантические отношения между ними. Был использован байесовский подход для построения трехмерной структуры сцены. Введение подобных семантических отношений между элементами трехмерных сцен позволит делать более надежные выводы при распознавании объектов в различных областях технического зрения.

Список литературы

1. *Захаров А.А., Тужилкин А.Ю.* Синтез трехмерных сцен по видеоизображениям с использованием априорной информации// Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – № 5. – С. 163-165.
2. *Потапов А.С.* Распознавание образов и машинное восприятие: Общий подход на основе принципа минимальной длины описания. — СПб.: Политехника, 2007. – 548 с.
3. *Фу К.*. Структурные методы в распознавании образов. — М.: Мир, 1977. – 320 с.
4. *Avraham T. Lindenbaum M.* Non-local Characterization of Scenery Images: Statistics, 3D Reasoning, and a Generative Model// Lecture Notes in Computer Science, 2010. Vol. 6315, – pp. 99-112.
5. *Bao S. Y., Savarese S.* Semantic structure from motion// Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011. – pp. 2703 – 2710.
6. *Del Pero L., Bowdish J., Fried D., Kermgard B. Hartley E., Barnard K.* Bayesian geometric modeling of indoor scenes// CVPR, 2012. – pp. 2719 – 2726.
7. *Eslami S.M.A., Williams C.* A Generative Model for Parts-based Object Segmentation// Advances in Neural Information Processing Systems, 2012. – № 25. – pp. 100-107
8. *Gupta A., Efros A.A., Hebert M.* Blocks World Revisited: Image Understanding Using Qualitative Geometry and Mechanics// Lecture Notes in Computer Science, 2010. Vol. 6314. – pp. 482-496.
9. *Xiang Y., Savarese S.* Estimating the aspect layout of object categories// Computer Vision and Pattern Recognition, 2012. – pp. 3410 - 3417.
10. *Zhu S.C., Mumford D.A.* Stochastic Grammar of Images// Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision, 2006. Vol. 2, № 4. – pp. 259-362.

05.13.15

С.А. Зинкин, М.Е. Федосин, А.С. Федосин

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарёва, факультет электронной техники, кафедра АСОИУ,
Саранск, fedosin@ispras.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ И АППАРАТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ-ЦЕНТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГИКО-АЛГЕБРАИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

В статье приводится описание архитектуры программно-аппаратного комплекса «Веб-центра», предназначенного для организации доступа к программному обеспечению для высокопроизводительных вычислений и средствам разработки и тестирования в модели облачных вычислений. Описание базируется на аппарате логико-алгебраических моделей представления знаний и затрагивает различные аспекты соединения и взаимодействия компонентов системы.

Ключевые слова: *облачные вычисления, высокопроизводительные вычисления, учет ресурсов, логико-алгебраические модели представления знаний.*

В качестве упрощения доступа к программному обеспечению для высокопроизводительных вычислений была разработана концепция программно-аппаратных комплексов «Веб-центров», также именуемыми «виртуальными информационно-вычислительными лабораториями» или «хабами» (англ. *hub*) [1]. В работе [2] было предложено улучшение, позволяющее организовывать на основе Веб-центров порталы по предоставлению клиентам облачных сервисов в модели *Software-as-a-Service* (SaaS), подразумевающей обеспечение удаленного интерактивного доступа к прикладному программному обеспечению без его модификации, и модели *Platform-as-a-Service* (PaaS), в рамках которой пользователями предоставляется площадка для разработки и тестирования программного обеспечения с возможностью последующего его размещения в Веб-центре.

В данной статье приводится описание архитектуры комплекса на основе аппарата логико-алгебраических моделей представления знаний [3]. Рассматривается соединение различных используемых компонентов системы внутри комплекса и их взаимодействие друг с другом.

Аппаратная часть Веб-центра, построенного на основе разработанной архитектуры, содержит (рис. 1):

— Группу ЭВМ, обеспечивающих функционирование веб-ядра Веб-центра (веб-ядро) (1). Эта группа предоставляет интерфейс для работы с Веб-центром, отвечает за авторизацию и хранение данных пользователей и выполняет рассылку информационных сообщений.

— Группу ЭВМ для хранения программных контейнеров виртуальных машин (ВМ) (хранилище контейнеров) (2). Группа хранит контейнеры, внутри которых выполняются запущенные приложения.

— Систему хранения данных для бинарных файлов приложений и домашних каталогов пользователей, которые подключаются к контейнеру виртуальной машины при запуске. (3).

— ЭВМ подсистемы распределения заданий (4). ЭВМ занимается загрузкой заданий пользователей на необходимые вычислительные ресурсы, а также обработкой результатов выполнения.

— ЭВМ системы аккаунтинга (5). В задачи ЭВМ входит обработка запросов на возможность проведения счета, а также хранение данных о доступных пользователям ресурсах и истории запусков.

— Внешние подключаемые высокопроизводительные вычислительные ресурсы (кластеры) (6). Оборудование, на котором происходит основное выполнение приложений.

Отличительной особенностью разработанной архитектуры является наличие *системы аккаунтинга* ресурсов (*СА*). Система состоит из четырех частей: *клиентской*, работающей в контейнере виртуальной машины, сервера подсистемы распределения заданий (*ПРЗ*) и основного сервера СА запущенных на выделенных ЭВМ, а также множества серверов подсистемы управления заданиями (*ПУЗ*), которые выполняются на каждом подключенном к Веб-центру вычислительном ресурсе [4]. Соответствующие компоненты выделены на рис.1 рамками.

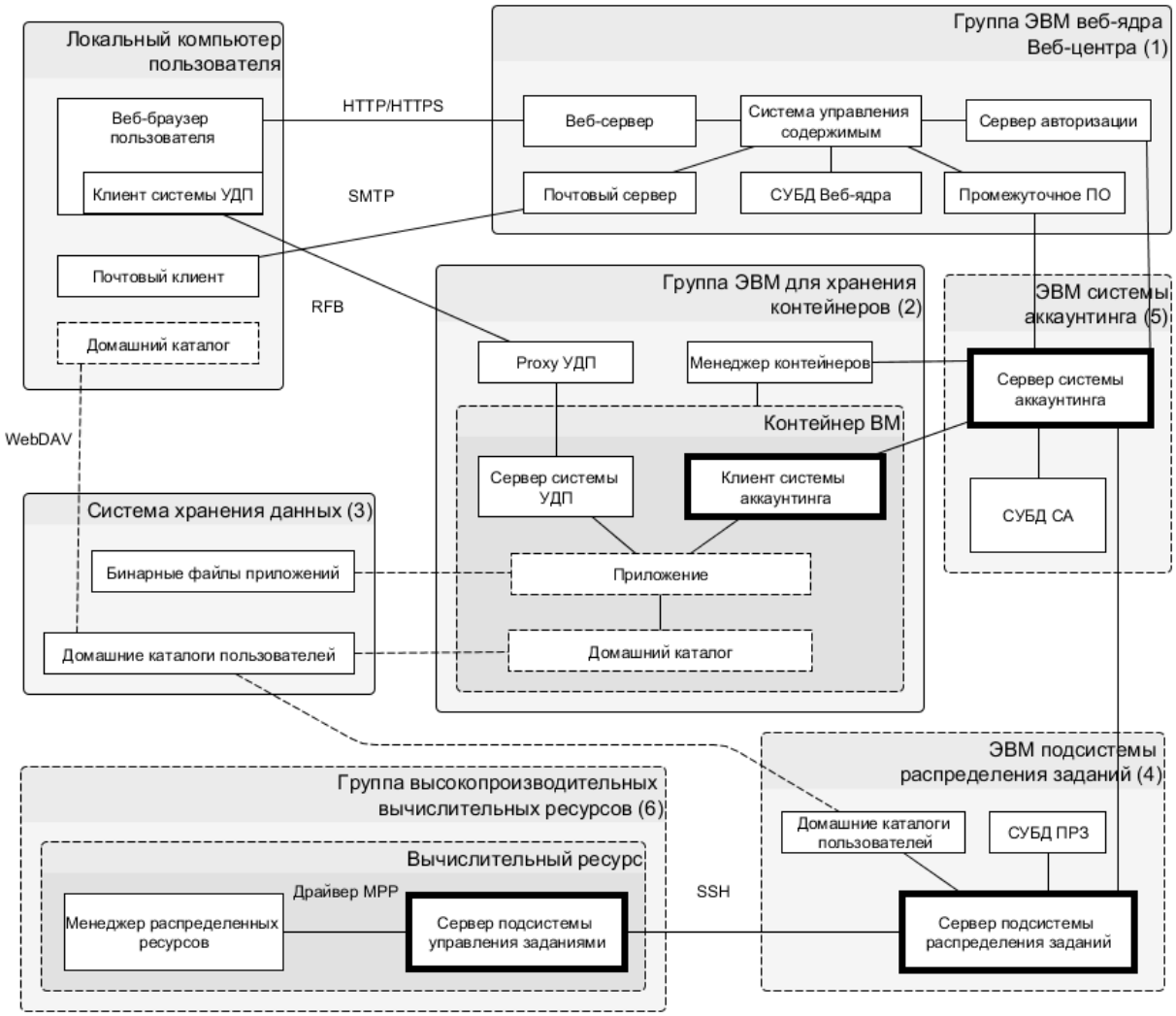


Рисунок 3. Архитектура программно-аппаратного комплекса «Веб-центра»

Клиентская часть выполняется внутри виртуального контейнера приложения и занимается перехватом и обработкой запросов приложения к менеджеру распределенных ресурсов (MPP), а затем передает их серверу системы аккаунтинга.

Сервер подсистемы распределения задний, запущенный на выделенной ЭВМ РЗ выполняет ряд ключевых функций: выбор оптимального вычислительный ресурс для проведения расчетов, пересылку вычислительных заданий и запросов СА необходимому серверу ПУЗ, обработку полученных результатов счета и помещение их в домашний каталог пользователя.

Сервер системы аккаунтинга запущен на выделенной ЭВМ СА и является центральной частью работы Веб-центра. Главной задачей сервера СА является прием вычислительных заданий от множества клиентов СА и проверка возможности их запуска на основе количества доступных средств на счету пользователя. Помимо этого сервер исполняет информационные запросы от пользователей о статусе выполняемых заданий, осуществляет управление ходом выполнения расчетов, хранит результаты запусков и формирует отчеты о проведенных исследованиях.

Сервер подсистемы управления заданиями выполняется на каждом вычислительном ресурсе Веб-центра. Сервер запускается от имени специально созданного пользователя Веб-центра и осуществляет взаимодействие с локальным менеджером распределенных ресурсов. Принимая запросы от сервера ПРЗ, он занимается добавлением задания в очередь выполнения, мониторингом текущего состояния ресурса, отменой выполнения задания по требованию пользователя и пересылкой результатов выполнения серверу ПРЗ.

Для повышения эффективности использования аппаратных и программных ресурсов Веб-центра, обеспечения безопасности работы и доступности ресурсов каждое запускаемое пользователем приложение работает в выделенном легковесном виртуальном окружении, интерактивное управление которым осуществляется с помощью системы Удаленного Доступа к Приложению (УДП). При создании контейнера автоматически происходит монтирование бинарных файлов запускаемого приложения и домашнего каталога пользователя, где хранятся специфичные настройки для приложения и куда будут отправлены результаты счета приложения после его завершения.

Для построения архитектуры Веб-центра была предложено математическое описание, базирующееся на логико-алгебраических моделях представления знаний. При описании применяются три множества элементов: *H, V* и *S*, которые включают в себя используемые аппаратные, виртуальные и программные компоненты соответственно. На основе этих множеств строится граф, соответствующий изображению на рис. 1.

Связи программных компонентов внутри одного элемента в графе отображаются при помощи продукционных правил $R(s_1,s_2) \leftarrow true|false$ (s_1 и s_2 – имена программных компонентов, $s_1, s_2 \in S$), причем $R(s_1,s_2) \equiv R(s_2,s_1)$. Взаимодействие с внешним аппаратным компонентом обозначается с помощью функции $f_{connect}(h_1.s_1) \leftarrow h_2.s_2$ ($s_1,s_2 \in S$ – названия программных компонентов, $h_1,h_2 \in H$ – имена устройств)

$H = \{Cl, WC, ASPC, JDSPC, CS, EPR\}$, где $Cl = \bigcup_{i=1}^{\infty} Cl_i$ – множество подключаемых к Веб-центру клиентских ЭВМ Cl_i, *WC* – веб-ядро, *ASPC* – ЭВМ системы аккаунтинга, *JDSPC* – ЭВМ подсистемы распределения заданий, *CS* – хранилище контейнеров, *SAN* – система хранения данных и $EPR = \bigcup_{j=1}^{\infty} EPR_j$ – множество внешних подключаемых ресурсов EPR_j.

Для каждого аппаратного компонента из *H* строится соответствующее ему множество программных компонентов H_s используемых им или одним из его элементов. Также дополнительное множество образуют компоненты виртуального контейнера $V_k \in V$. Таким образом, $S = Cl_s \cup WC_s \cup ASPC_s \cup JDSPC_s \cup CS_s \cup EPR_s$

Клиенты Веб-центра являются сторонним компонентами, и на них не накладывается строгих ограничений по установленному программному обеспечению. Тем не менее, соответствующее множество должно содержать ряд элементов.

$Cl_s = \{Br, MC, Br.VNCc\}$, где *Br* – браузер пользователя, *MC* – почтовый клиент и *Br.VNCc* – встроенный в браузер клиент системы УДП.

Виртуальные компоненты (контейнеры) создаются в ходе работы системы при запуске приложений и существуют только во время их работы. Возможны ситуации, когда приложение требует дополнительных установленных элементов (подключаемые библиотеки, другие версии установленных программ и т.д.), но в базовом случае множество содержит следующие элементы:

$V_s = \{App, ASc, VNCs\}$, где *App* – работающее внутри контейнера прикладное приложение, *ASc* – клиент системы аккаунтинга и *VNCs* – сервер системы УДП.

Следующие 4 элемента образуют логическое ядро Веб-центра, к которому подключены клиенты пользователей с одной стороны и вычислительные ресурсы с другой.

$WC_s = \{WS, CMS, MS, DBMS_{wc}, MW, Auth\}$, где *WS* – веб-сервер, *CMS* – система управления содержимым, *MS* – почтовый сервер, $DBMS_{wc}$ – локальная СУБД, *MW* – промежуточное программное обеспечение и *Auth* – сервер авторизации.

$ASPC_s$ = {*ASs*, $DBMS_{as}$}, где *ASs* – сервер системы аккаунтинга и $DBMS_{ASs}$ – локальная СУБД.

$JDSPC_s$ = {*JDSs*, $DBMS_{jds}$}, где *JDSs* – сервер подсистемы распределения заданий и $DBMS_{jds}$ – локальная СУБД.

CS_s = {*CM*, *VNCproxy*} ∪ *V*, где *CM* – менеджер виртуальных контейнеров и *VNCproxy* – прокси-сервер системы УДП.

Подключенные вычислительные ресурсы также являются внешними компонентами и основным требованием для них является возможность установки сервера ПУЗ и его соединения с МРР.

EPR_s = {*BS*, *JCSs*}, где *BS* – менеджер распределенных ресурсов, а *JCSs* – сервер подсистемы управления заданиями.

В качестве устройства сетевой файловой системы используется компонент *Store*, соответствующий системе хранения данных и состоящий из двух элементов: *Home* – множества домашних каталогов пользователей и *Apps* – множества бинарных файлов приложений.

Для описания соединения этих элементов с остальными частями Веб-центра используется функция связывания f_{mount}, принимающая в качестве аргумента необходимый каталог и помещающая его на нужное устройство.

Таким образом, общая схема подключения имеет следующий вид:

Store: $[p(\alpha)](\{f_{mount}\ (Home_{id}) \leftarrow Cl_{id}, f_{mount}\ (Home_{id}, Apps_{name}) \leftarrow V_{veid}\ f_{mount}\ (Home) \leftarrow JDSPC$ (*id* – идентификатор пользователя, *name* – название запускаемого приложения, *veid* – идентификатор контейнера) (1)

Cl: $[p(\alpha)](\{f_{connect}(Br) \leftarrow WC.WS, f_{connect}(MC) \leftarrow WC.MS, f_{connect}(Br.VNCc) \leftarrow CS.VNCproxy\} \vee E)$ (2)

WC: $[p(\alpha)](\{f_{connect}(WS) \leftarrow Cl.Br, f_{connect}(MS) \leftarrow Cl.MC, R(CMS,WS) \leftarrow true, R(CMS,DBMS_{wc}) \leftarrow true, R(CMS,WC) \leftarrow true, R(CMS,MW) \leftarrow true, R(CMS,Auth) \leftarrow true\ \} \vee E)$ (3)

ASPC: $[p(\alpha)](\{f_{connect}(ASs) \leftarrow WC.MW, f_{connect}(ASs) \leftarrow WC.Auth, f_{connect}(ASs) \leftarrow JDSPC.JDSs, f_{connect}(ASs) \leftarrow CS.CM, f_{connect}(ASs) \leftarrow V.ASc, R(ASs,DBMS_{as}) \leftarrow true\ \} \vee E)$ (4)

JDSPC: $[p(\alpha)](\{f_{connect}(JDSs) \leftarrow ASPC.ASs, f_{connect}(JDSs) \leftarrow EPR.JCSs, R(JDSs,DBMS_{jds}) \leftarrow true\} \vee E)$ (5)

CS: $[p(\alpha)](\{f_{connect}(CM) \leftarrow ASPC.ASs, f_{connect}(CM) \leftarrow V, f_{connect}(VNCproxy) \leftarrow Cl.VNCc, f_{connect}(VNCproxy) \leftarrow V.VNCs, R(CM,VNCproxy) \leftarrow true\ \} \vee E)$

V: $[p(\alpha)](\{f_{connect}(VNCs) \leftarrow CS.VNCproxy, f_{connect}(ASc) \leftarrow AS.ASs, R(App,VNCs \leftarrow true, R(App,ASc) \leftarrow true\ \} \vee E)$ (6)

EPR: $[p(\alpha)](\{f_{connect}(JCSs) \leftarrow JDSPC.JDSs, R(JCSs,BS) \leftarrow true\ \} \vee E)$ (7)

В случае если приложению требуется поддержка графических ускорителей при визуализации результатов счета, то архитектура может быть дополнительно снабжена рендер-фермой [5], подключенной к виртуальным контейнерам, с помощью которой будет происходить обработка и модифицирование графических объектов.

Список литературы

1. *Klimeck G. et al. «*Nanohub.org: Advancing education and research in nanotechnology» // Computing in Science & Engineering. – 2008. – Т. 10. – №. 5. – С. 17-23.
2. *Федосин М.Е.* «Технология поддержки учета ресурсов в виртуальных информационно-вычислительных лабораториях» // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1 (часть 2). – стр. 433-438
3. *Волчихин В.И., Зинкин С.А.* Логико-алгебраические модели и методы в проектировании функциональной архитектуры распределенных систем хранения и обработки данных. // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. 2012. №2. С.3-16.
4. *Федосин М.Е.* «Разработка программно-аппаратного комплекса для предоставления доступа к высокопроизводительному программному обеспечению в концепции облачных вычислений» // "Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований" №6, 2013 - С. 110
5. *Patoli Z. et al.* How to build an open source render farm based on desktop grid computing // Wireless Networks, Information Processing and Systems. – Springer Berlin Heidelberg, 2009. – С. 268-278.

05.23.05

А.Н. Ивашкин, П.В. Борков

Липецкий государственный технический университет,
инженерно-строительный факультет, кафедра сопротивления материалов,
Липецк, borkovpv@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК И ГРАНУЛОМЕТРИИ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

В статье приведены результаты исследования свойств декоративных бетонов, полученных с использование химических добавок и заполнителей из отходов промышленности. Изучены составы бетонов на основе отсева дробления известняка, отсева дробления доменного шлака и кварцевого песка. Представлены данные инфракрасной спектроскопии поверхности декоративного бетона, окрашенного солями металлов.

Ключевые слова: *декоративный бетон, отсев известняка, доменный шлак, гранулометрический состав.*

Декоративный бетон сочетает в себе выразительность отделочного материала и высокие показатели долговечности и прочности обычного бетона. Всю номенклатуру изделий из декоративного бетона объединяет геометрическая сложность форм, что требует от используемого в производстве материала соответствия определенным параметрам, которые определяют качество производимых изделий. Сдерживающими факторами его широкого использования остаются сравнительно высокая стоимость и особенности переработки смесей декоративного бетона в конечные изделия.

Анализ технологических процессов и дефектов готовых изделий на действующих производствах установлены основные требуемые реологические, технологические, физико-механические и экономические показатели смеси декоративного бетона и готовых изделий:

- устойчивость смеси к седиментации при уплотнении под действием вибрации;
- низкое влияние заполнителя на цвет готового изделия;
- отсутствие дефектов на лицевой поверхности;
- снижение себестоимости 1 м^3 смеси декоративного бетона.

В настоящее время развитие промышленности строительных материалов нацелено на получение эффективных композиционных материалов с одновременным снижением их себестоимости. Одним из направлений получения таких материалов является использование отходов и сопутствующих продуктов различных отраслей промышленности [1,2]. Поскольку расходы на материалы при возведении зданий и сооружений приходится около 40% от общей стоимости, утилизация отходов промышленности позволяет решать не только экологическую проблему, но и снижает себестоимость конечной продукции.

Научно-обоснованный подход к гранулометрическому составу мелкого заполнителя декоративного бетона позволяет получать изделия с высокими эстетическими и требуемыми эксплуатационными свойствами [3]. От оптимизации зернового состав заполнителя зависит расход химических добавок, свойства смеси и ее стоимость. Оптимальной является такая ситовая характеристика заполнителя, при которой обеспечивается наиболее плотная упаковка, когда доли различных фракций примерно равны. Неправильный подбор фракционного состава приводит к возникновению трещин, усадочных деформаций, повышенной пустотности и снижению механических показателей [1].

В представленных исследованиях [4] рассматривалось применение в декоративном бетоне кварцевого песка, обогащенного техногенными отходами. Физико-механические свойства отходов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-механические отсевов техногенных отходов

Наименование отсева	Плотность, г/см³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Прочность, МПа
Известняк*	2,5	2	7	80
Шлак доменный	2,8	5	1,5	140

Зерновые характеристики исследуемых песков и отсевов приведены в таблице 2.

Таблица 2-Зерновые характеристики заполнителей

Наименование	Содержание фракции <0,14мм, %	Модуль крупности
Известняковый отсев*	33,2	3,74
Отсев шлака	7,9	3,47
Кварцевый песок	1,6	2,45

Смешиванием различных долей кварцевого песка и отсева получена песчаная смесь с модулем крупности $M_{кр}$=3. При проведении исследования для оценки декоративных качеств получаемой поверхности смеси декоративного бетона укладывались в формы-призмы сечением 100×100 мм и высотой 400 мм и подвергались вибрирования на лабораторном столике до полного выравнивания верхней поверхности. Данный размер формы выбран как наиболее сопоставимый с реальными формами используемыми для производства изделий малой архитектуры. Оптимальное соотношение смеси отсевов и песка определялось по наибольшей насыпной плотности. В объемных долях 1:0,5:0,5 (отсев дробления известняка, отсев дробления доменного шлака, кварцевый песок). Применялся пластификатор на основе поликарбоксилатов – Melflux 2651 и С-3. При применении пластификаторов на основе поликарбоксилатов увеличения подвижности и водоредуцирования не было. Это объясняется значительным внутренним трением заполнителя в бетоне и механизмом действия пластификаторов на основе поликарбоксилатов, для которых необходим гораздо больший коэффициент раздвижки зерен.

Методом эмиссионной спектроскопии была исследована поверхность декоративного бетона обработанного раствором пятиводного сульфата железа. Глубина проникновения хорошо определяема из спектров в области 1750-400 см-1.

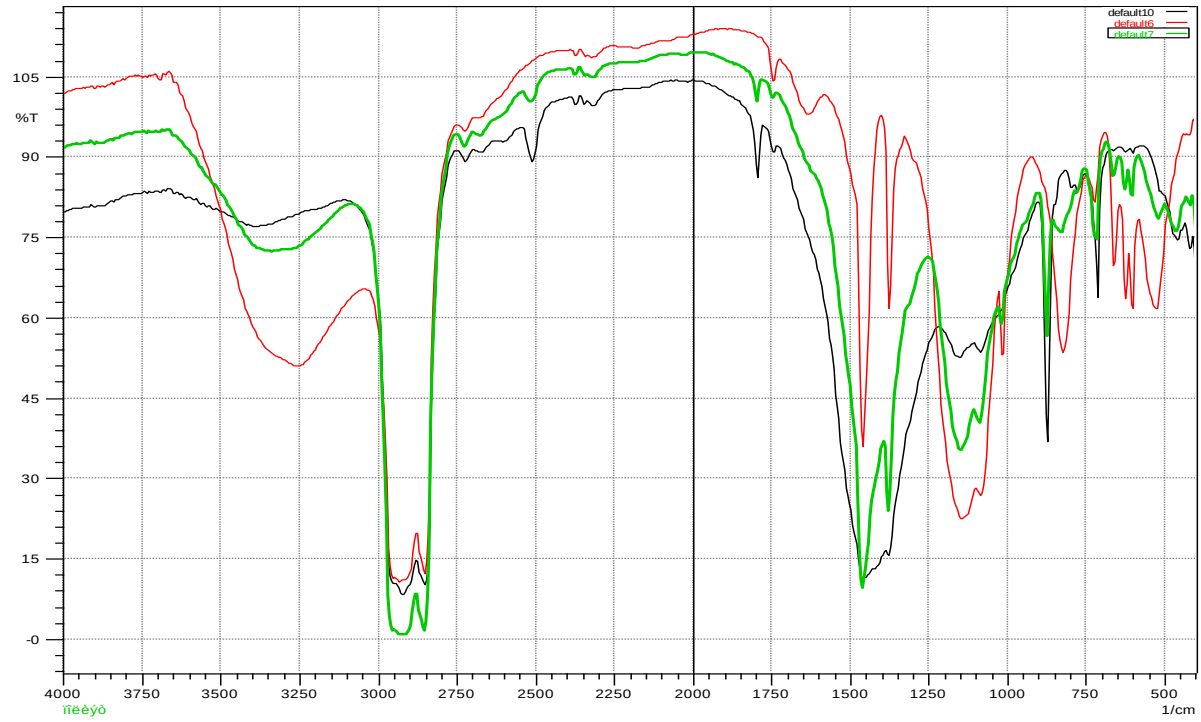


Рис. 1 – Спектрограмма поверхности бетона, обработанного раствором пятиводного сульфата железа

На рис. 2 хорошо виден результат проникновения красителя в материал основы (кроме материала наполнителя – песка). Размер клетки -0,5 мм.

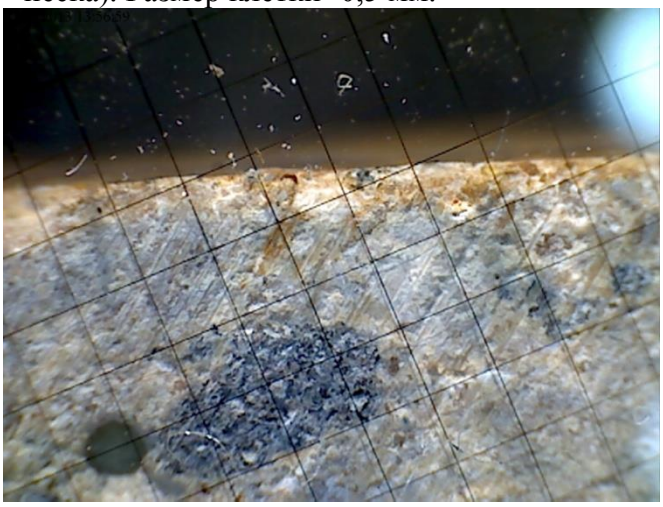


Рис. 2 – Глубина проникновения раствора пятиводного сульфата железа в поверхность бетона

Результаты исследований позволяют наметить перспективу работ по подбору и оптимизации составов существующих смесей, созданию многокомпонентных композиционных материалов. Основной задачей при этом является максимальное снижение себестоимости за счет применения местных сырьевых материалов и повышения технологичности производства.

Список литературы

1. *Бондарев Б.А., Корнеев К.А., Ивашкин А.Н.* Композиционные строительные материалы на основе местных песков и отходов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 26. С. 96-101.

2. *Мелконян В.Г., Борков П.В.* Исследование полимерных связующих с наполнителями из техногенных отходов // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 38.

3. *Лошак В.В., Черкасов С.В., Власов В.В.* Влияние гранулометрического состава заполнителя на эстетические и эксплуатационные свойства декоративного бетона // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы строительного материаловедения и высокие технологии. 2011. № 3-4. С. 61-65.

4. *Корнеев К.А., Ивашкин А.Н., Копейкин А.В.* Оптимизация состава заполнителя мелкозернистых бетонов отсевом дробления строительного известняка и доменного шлака // Материалы V Всероссийской научно-технической конференции "Актуальные вопросы строительства" : [сб. докладов]. Т. 1 / Рос. акад. архитектуры и строит. наук ; отв. за вып. Ю.Л. Сколубович [и др.]. - Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. - 288 с.

05.02.10

Д.П. Ильященко

Юргинский технологический институт
Национального исследовательского Томского политехнического университета
г. Юрга, mita8@rambler.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНВЕРТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 1.0503(DIN, ГЕРМАНИЯ)

В работе рассмотрено влияние типа источника питания дуговой сварки (диодного выпрямителя ВД-306 и инвертора Nebula-315) на химический состав, микроструктуру, механические свойства сварных соединений из стали 1.0503(DIN, ГЕРМАНИЯ). Установлено, что тип источника питания сварки оказывает значительное влияние на химический состав и микроструктуру сварного шва, и механические свойства сварных соединений.

Ключевые слова: *дуговая сварка, тип источника питания, свойства сварных соединений.*

Надежность сварных соединений металлоконструкций во всех отраслях промышленности существенно влияет на безопасность и экономическую эффективность производства, поэтому ее необходимо повышать.

В работах [1,2] было установлено положительное влияние энергетических характеристик инверторного источника питания на хим. Состав, мех свойства и микроструктуру сварных соединений из сталей 09Г2С, 12Х18Н9Т, однако при изготовлении сварных конструкций часто применяются стали: S45C, JIS, Япония; 1.0503, DIN, Германия, Стали 45, Россия; 1.0503, EN, Евросоюз, относящиеся к классу среднеуглеродистых, которые более капризны к термическому циклу, из которых изготавливают коленчатые и распределительные валы, шестерни, шпиндели, бандажи, цилиндры.

Для проведения комплексного исследования (химический состав, микротвердость, микроструктура, механические свойства) были заварены образцы – сварку пластин (соединение С17 по ГОСТ 5264-80) толщиной 10 мм из стали 1.0503, DIN, Германия производили (см. рис.1) в 4 слоя, электродами: корень – УОНИ 13/55 (d = 3 мм), сварочный ток I = 80-90 А; заполнение – УОНИ 13/55 (d = 4 мм), сварочный ток I = 120-130 А, с предварительным подогревом деталей до 300 ^{o}С и последующим медленным охлаждением (укрытие теплоизолятором, асбестовое волокно, до полного остывания).

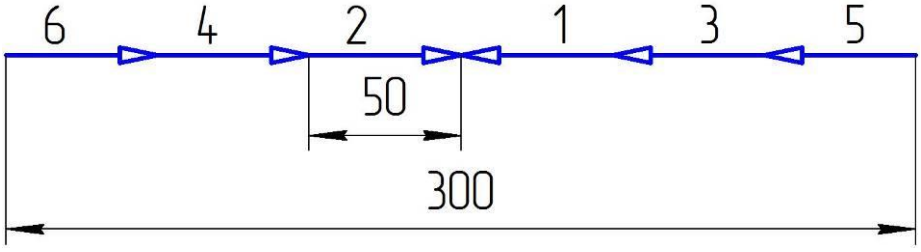


Рис. 1 – Схема наложения швов

Анализ экспериментальных данных химического состава сварного шва определенных по ГОСТ 22536. 1-9, показал (таблица 1), что тип источника питания оказывает влияние на химический состав сварного шва, из за меньшей энергетической тепловой составляющей в каплях расплавленного электродного металла [3], тем самым происходит меньшее выгорание легирующих элементов от массовой доли Mn на 0,08%, что косвенно подтверждается данными работы [4].

Таблица 3.2 - Среднестатистический химический состав металла сварных швов, выполненных из стали 1.0503 (DIN, Германия) электродами марки УОНИ 13/55

Источник питания	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Cu
диодный выпрямитель	0,12	0,30	0,92	0,019	0,06	0,05	0,09
инвертор	0,12	0,31	1,00	0,02	0,06	0,06	0,10

Измерение микротвердости образцов (рисунок 2) проводили на микротвердомере DURAMIN 5 по методу Виккерса при нагрузке 50 г и времени выдержки 10 с.

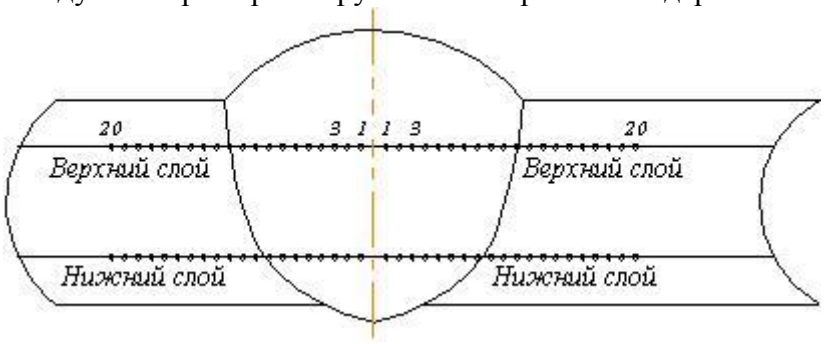
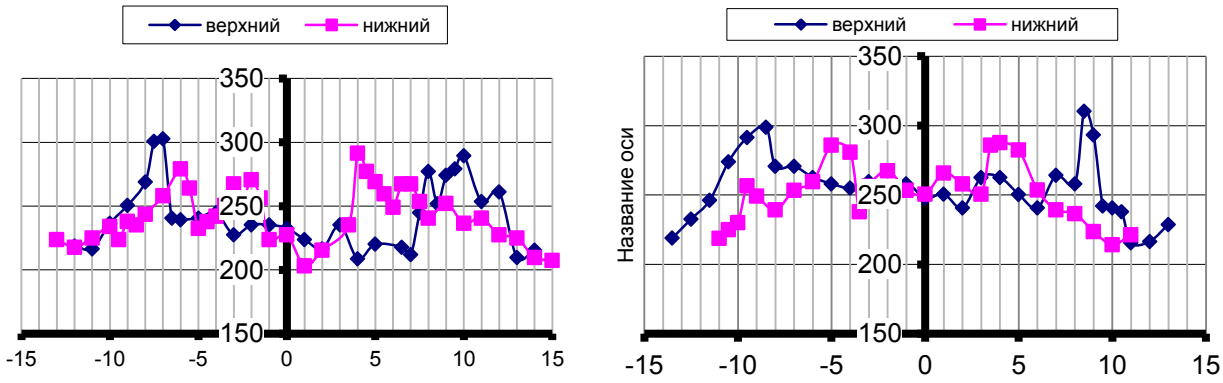


Рисунок 2 Схема проведения измерения микротвердости (шаг между точками 0,5 мм)

На рисунке 3 представлены распределения микротвердости сварных соединений из 1.0503 (DIN, Германия) (согласно схемы изображенной на рисунке 2).



а) б)

Рисунок 3 - Распределение микротвердости в поперечном сечении сварных соединений:
а – источник питания ВД – 306; б – Nebula 315

Распределение микротвердости показывают разброс значений твердости сварочной шов и основной металл различие в 50 единиц (рисунок 3,б), и 100 единиц (рисунок 3,а), что соответствует более равномерному распределению при использовании инверторного источника питания.

Исследование полученных микроструктур проводили методом оптической металлографии с использованием оптического микроскопа Olympus GX-71. При изготовлении шлифов использовалась механическая шлифовка, механическая полировка на алмазной пасте АСМ 10/7 НВЛ и химическое травление раствором 4 % азотной кислоты (HNO_3).

Рассмотрим микроструктуру образца № 1 (диодный выпрямитель) рассмотрение микроструктуры производили в 2 ряда по схеме на рисунке 1.

Исходная структура 1.0503 (DIN, Германия) (вне ЗТВ) - феррито – перлитная. Видны зерна, содержащие пластинчатый перлит. Количество и характер расположения перлита соответствуют баллу 2В по ГОСТ 5640-68 (рисунок 4,а,б).

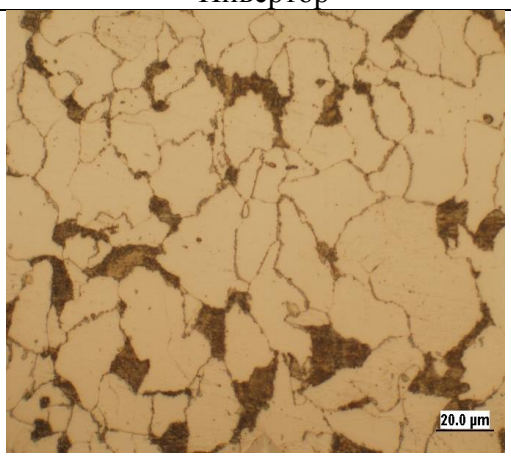
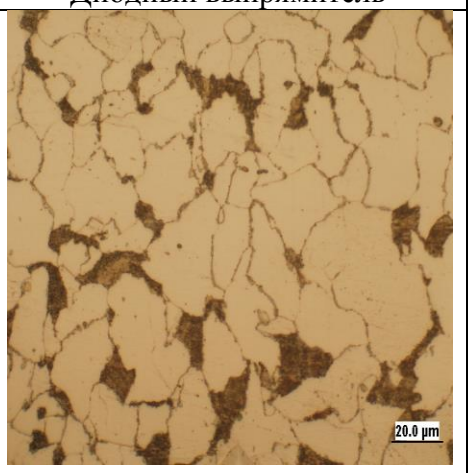
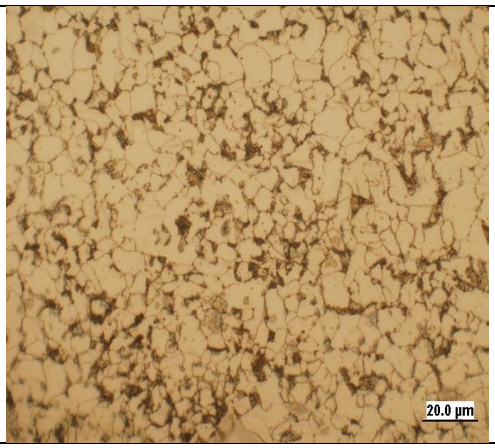
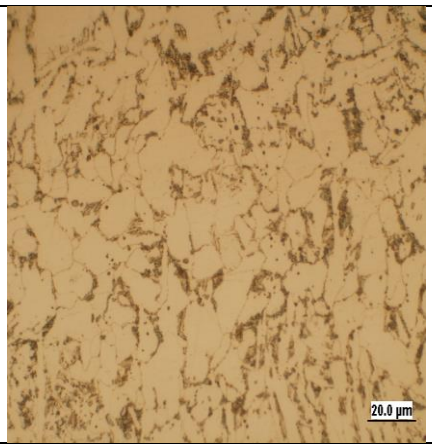
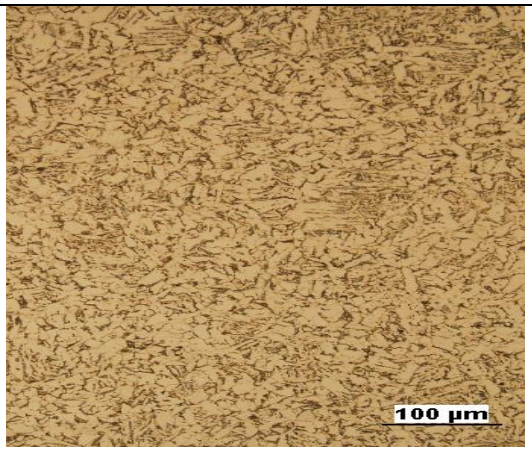
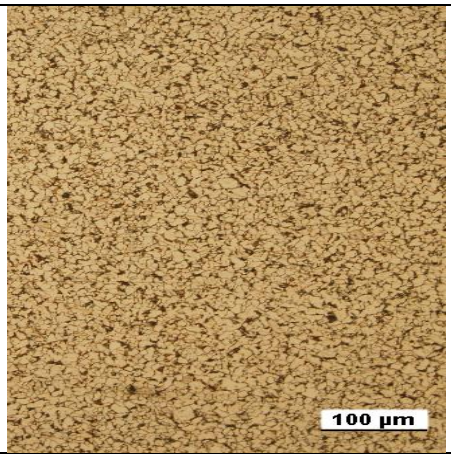
	Инвертор	Диодный выпрямитель
Основной металл		
	а	б
ЗТВ		
	в	г
шов		
	д	е

Рисунок 4 Результаты микроструктурного анализа: а - микроструктура стали 45, б, в, г - микроструктура ЗТВ сварного соединения; д - микроструктура сварного шва

Зона термического влияния - структура ферритно-перлитная, измельчается размер зерен феррита, феррит переходит в сорбитообразный (рисунок 4 в). Количество и характер расположения перлита соответствует баллу 1Б по ГОСТ5640

Структура шва феррито - перлитная с незначительным признаком Видманштеттовой (видно при малом увеличении рисунок 4, д). Балл 1Б по ГОСТ 5640-68.

Образец №1 нижний ряд. Отличие от верхнего ряда – полное отсутствие видманштеттовой структуры в шве за счет автотермообработки.

Образец № 2 (инверторный источник питания). Структура подобна таковой в образце 1, отличие заключается в отсутствие видманштеттовой структуры в структуре сварного шва,

как в верхнем, так и нижнем рядах, можно предположить что это связанно с меньшим теплосодержанием капли расплавленного электродного металла [5] и более повышенным содержанием марганца, который, как известно, является элементом снижающими рост видманштедтового феррита, путем лимитации процесса диффузионного перераспределения углерода [6].

Установленные отличия при микроструктурном анализе, позволяют предположить и различные значения механических свойств в полученных сварных соединениях при использовании различных источников питания.

Механические испытания сварных образцов проводились по ГОСТ 6996 -70, результаты представлены в таблице 5,6,7.

Таблица 2 – Механические свойства сварных соединений выполненных из стали 1.0503 (DIN, Германия) электродами марки УОНИ 13/55

Источник питания	Предел временного сопротивления разрыву σ_B, МПа	Угол загиба (наружу, во внутрь и на ребро), град	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (надрез по центру шва)	
			+20^{0}C	-40^{0}C
диодный выпрямитель	645-650 648	120-120 120	71,5-112,7 92,1	10-15 12,5
инвертор	647-654 650	120-120 120	105,1-129,6 117	50-67,2 58,6

Анализ результатов таблицы 2 показывает, что снижение перегрева капель, при сварке от инверторного источника питания, что способствует увеличению ударной вязкости, что играет существенное значение при эксплуатации изготавливаемых изделий из стали 1.0503 (DIN, Германия) коленчатые и распределительные валы, шестерни, шпиндели, бандажи, цилиндры.

Проведенного комплексного исследований позволило установить, что при использовании инверторного источника питания происходит меньшее тепловложение в каплю расплавленного электродного металла, что обеспечивает снижение выгорания марганца, повышение ударной вязкости сварных соединений при отрицательной температуре (предотвращение образования видманштедтовой структуры).

Список литературы

1. *Ильященко Д.П.* Влияние энергетических характеристик инверторного источника питания на химический состав и микроструктуру сварного шва из стали 12Х18Н9Т // Научно-технический вестник Поволжья. - 2013 - №. 4. - С. 178-180

2. *Ильященко Д.П.* Исследование влияния инверторного источника питания дуговой сварки на свойства сварных соединений // Научно-технический вестник Поволжья. № 6. 2012. – С. 260-264.

3. Intestigating the Influence of the Power Supply the Weld Joints Properties and Health Characteristics of the Manual Arc Welding / D.P. Ilyashchenko, D.A. Chinakhov//Materials Science Forum, 2011, No 12, pp 704-705.

4. *А.М. Игнатова* Минералообразование в частицах твердой составляющей сварочных аэрозолей при высокотемпературных и кратковременных пирогенных процессах сварки // Научно-технический вестник Поволжья. - 2013 - №. 5. - С. 166-173

5. *Ильященко Д.П., Чинахов Д.А.* Влияние типа источника питания на тепло- и массоперенос при ручной дуговой сварке // Сварка и диагностика. - 2010 - №. 6 - С. 26-29

6. *Лившиц Л.С.* Металловедение для сварщиков (сварка сталей). — М.: Машиностроение, 1979. —253 с.

05.13.18

А.О. Казакова

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
кафедра теоретической механики,
Чебоксары, kazakova_anastasia@bk.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗГИБА ТОНКОЙ ПЛАСТИНКИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

В работе предложен численный метод решения задач изгиба тонкой пластинки произвольной формы, основанный на разработанном ранее А.Г. Терентьевым и автором алгоритме решения краевых задач для полигармонических функций.

Ключевые слова: *изгиб тонких пластинок, полигармоническое уравнение, краевые задачи, МГЭ, математическое моделирование.*

Введение

Тонкой пластинкой называется призматическое тело, высота которого (толщина пластинки) мала по сравнению с другими ее размерами. Деформации пластинки также считаются малыми. Наиболее полно классическая теория изгиба тонких пластинок изложена в монографии С.П. Тимошенко и С. Войновского-Кригер (см. [1]). В этой и в ряде других работ получены точные решения для некоторых областей частного вида. В случае же областей сложной формы незаменимым остается применение численных методов. В настоящей работе численный алгоритм, разработанный А.Г. Терентьевым и автором для решения краевых задач для полигармонического уравнения (см. [2]), применяется к решению задач изгиба тонких пластинок. Высокая точность предложенного метода проиллюстрирована на тестовых примерах.

1. Функция прогибов и граничные условия

Все компоненты тензоров напряжений и деформаций выражаются через одну функцию $w(x,y)$, которая называется *функцией прогибов*, которая удовлетворяет дифференциальному уравнению (см. [3]):

$$\Delta^2 w = \frac{q}{D}, \tag{2}$$

где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ – оператор Лапласа, q – внешняя сила, отнесенная к единице площади, $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ – цилиндрическая жесткость пластинки.

Граничные условия для уравнения (2) записываются в зависимости от способа закрепления края пластинки. Здесь рассматриваются два случая:

I. *Край пластинки заделан.* На границе области T выполняются условия

$$w = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial n} = 0, \tag{3}$$

где $\mathbf{n} = (n_x, n_y)$ – внешняя нормаль к границе области ∂T.

II. *Край пластинки опёрт.* Тогда граничные условия имеют вид:

$$w = 0, \quad \nu\Delta w + (1-\nu)\left\{\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} n_x^2 + 2\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} n_x n_y + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} n_y^2\right\} = 0. \tag{4}$$

2. Интегральные соотношения

В задачах I и II возможен переход от граничных условий (3), (4) к граничным условиям для системы интегральных уравнений, которая получена А.Г. Терентьевым и автором в [2] из интегральной формулы Грина:

$$\varepsilon u_j\left(P_0\right)=\sum_{k=0}^{n-j-1}\int_{\partial T}\left(v_{j+k}\left(P\right)G_k\left(P,P_0\right)-u_{j+k}\left(P\right)H_k\left(P,P_0\right)\right)ds\left(P\right),\quad (j=\overline{0,n-1}). \tag{5}$$

где $u_0=u$ – полигармоническая функция n-го порядка,

$$u_k=\Delta^k u,\ v_k=\frac{\partial u_k}{\partial n},\ G_k=\frac{1}{2\pi}\frac{r^{2k}}{4^k(k!)^2}\left(\ln\frac{1}{r}+\sum_{m=1}^{k}\frac{1}{m}\right),\ H_k=\frac{\partial G_k}{\partial n},$$

r – расстояние между точками P и P_0, $\varepsilon=\begin{cases}0.5, & P_0\in\partial T,\\ 1, & P_0\in T.\end{cases}$

Если q является полигармонической функцией порядка $n-2$, то из (2) следует, что w удовлетворяет уравнению $\Delta^n w=0$. В частности, если q – константа, то функция прогибов удовлетворяет полигармоническому уравнению третьего порядка, и соотношения (5) примут вид:

$$\begin{gathered}\varepsilon\, w\left(P_0\right)=\int_{\partial T}\left[\frac{\partial w}{\partial n}G_0-wH_0+\frac{\partial\Delta w}{\partial n}G_1-\Delta wH_1+\frac{\partial\Delta^2 w}{\partial n}G_2-\Delta^2 wH_2\right]ds,\\ \varepsilon\,\Delta w\left(P_0\right)=\int_{\partial T}\left[\frac{\partial\Delta w}{\partial n}G_0-\Delta wH_0+\frac{\partial\Delta^2 w}{\partial n}G_1-\Delta^2 wH_1\right]ds,\\ \varepsilon\,\Delta^2 w\left(P_0\right)=\int_{\partial T}\left[\frac{\partial\Delta^2 w}{\partial n}G_0-\Delta^2 wH_0\right]ds.\end{gathered} \tag{6}$$

При этом последнее уравнение в (6) обращается в тождество.

3. Решение задач I и II

В случае задачи I выполняются условия (3). Кроме того, если q – константа, то $\frac{\partial\Delta^2 w}{\partial n}=0$, тогда система (6) для задачи I принимает вид:

$$\begin{gathered}\varepsilon\, w\left(P_0\right)=\int_{\partial T}\left[\frac{\partial\Delta w}{\partial n}G_1-\Delta wH_1-\frac{q}{D}H_2\right]ds,\\ \varepsilon\,\Delta w\left(P_0\right)=\int_{\partial T}\left[\frac{\partial\Delta w}{\partial n}G_0-\Delta wH_0-\frac{q}{D}H_1\right]ds.\end{gathered} \tag{7}$$

Система (5) позволяет построить алгоритм решения полигармонического уравнения на основе метода граничных элементов (см. [2], [4]), который состоит в аппроксимации границы области системой конечного числа N малых элементов Γ_j и в аппроксимации функций на каждом элементе. Тогда (7) сводится к системе линейных уравнений:

$$\begin{pmatrix}\varepsilon\mathbf{E}+\mathbf{A}^{(0)} & -\mathbf{B}^{(0)}\\ \mathbf{A}^{(1)} & -\mathbf{B}^{(1)}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\mathbf{U}^{(1)}\\ \mathbf{V}^{(1)}\end{pmatrix}=-\frac{q}{D}\begin{pmatrix}\mathbf{A}^{(1)}\\ \mathbf{A}^{(2)}\end{pmatrix}, \tag{8}$$

где $\mathbf{E}$ – единичная матрица, $\mathbf{U}^{(1)},\mathbf{V}^{(1)}$ – вектор-столбцы, компонентами которых являются значения в контрольных точках функций Δw и $\frac{\partial\Delta w}{\partial n}$ соответственно, $\mathbf{A}^{(k)},\mathbf{B}^{(k)}$ — матрицы, элементы которых:

$$A_{i,j}^{(k)}=\int_{\Gamma_j}H_k\left(P,P_i\right)ds,\quad B_{i,j}^{(k)}=\int_{\Gamma_j}G_k\left(P,P_i\right)ds,\quad \left(i,j=\overline{1,N},\quad k=\overline{0,2}\right).$$

Рассмотрим теперь задачу II. Если перейти к производным по направлениям нормали $\mathbf{n}$ и касательной $\mathbf{l}$, то второе условие (4) упрощается:

$$\Delta w-(1-\nu)\left\{\frac{\partial^2 w}{\partial l^2}+\frac{\partial\alpha}{\partial l}\frac{\partial w}{\partial n}\right\}=0, \tag{9}$$

где α – угол между нормалью и положительным направлением оси Ox.

Но поскольку $w=0$ на границе области, то на всей границе равны нулю $\partial w/\partial l$ и $\partial^2 w/\partial l^2$. Тогда граничные условия задачи II преобразуются к виду:

$$w=0,\quad \frac{\partial w}{\partial n}=\frac{1}{\partial\alpha/\partial l}\frac{\Delta w}{1-\nu}. \tag{10}$$

Интегральные соотношения (6) примут вид:

$$\begin{aligned}\varepsilon w&=\int_{\partial T}\left[\frac{\partial\Delta w}{\partial n}G_1+\Delta w\left(\frac{1}{1-\nu}\frac{G_0}{\alpha_l'}-H_1\right)-\frac{q}{D}H_2\right]ds,\\ \varepsilon\Delta w&=\int_{\partial T}\left[\frac{\partial\Delta w}{\partial n}G_0-\Delta wH_0-\frac{q}{D}H_1\right]ds,\end{aligned} \tag{11}$$

и после дискретизации этих соотношений получим окончательно систему линейных алгебраических уравнений, матричное представление которой

$$\begin{pmatrix}\varepsilon\mathbf{E}+\mathbf{A}^{(0)} & -\mathbf{B}^{(0)}\\ \mathbf{A}^{(1)}-\dfrac{1}{1-\nu}\mathbf{B} & -\mathbf{B}^{(1)}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\mathbf{U}^{(1)}\\ \mathbf{V}^{(1)}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}-\dfrac{q}{D}\mathbf{A}^{(1)}\\ -\dfrac{q}{D}\mathbf{A}^{(2)}\end{pmatrix}, \tag{12}$$

где $\mathbf{B}$ – матрица, элементы которой вычисляются по формулам:

$$B_{i,j}=\int_{\Gamma_j}\frac{1}{\partial\alpha/\partial l}G_0(P,P_i)\,ds,\quad i,j=\overline{1,N}.$$

Из систем (8) или (12) могут быть найдены граничные значения функций Δw и $\frac{\partial\Delta w}{\partial n}$, а далее, зная их, можно определить значение искомой функции прогибов в любой точке пластинки.

Система интегральных уравнений (5) может быть сведена к системе линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных значений функций Δw и $\frac{\partial\Delta w}{\partial n}$, если $q-$ полигармоническая функция любого порядка.

6. Тестовые примеры

Пример 1. Рассмотрим задачу I для алюминиевой эллиптической пластинки с полуосями $a=1$м, $b=0.75$м толщины $h=0.02$м, расположенной горизонтально в поле тяжести ($q=\rho gh$). Точное решение этой задачи дано в [1]. На рис. 1 показаны граничные значения функции $\frac{\partial\Delta w}{\partial n}$: сплошная линия – точный график, точки – значения, найденные численно при $N=60$.

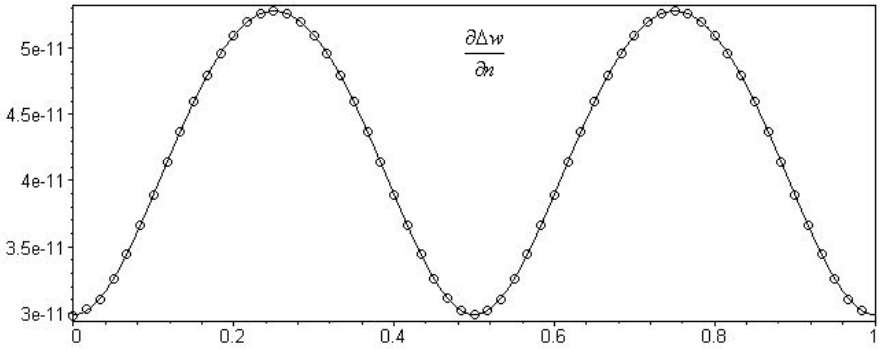


Рис. 1 – Граничные значения искомой функции примера 1

Пример 2. В [1] получено аналитическое решение задачи об изгибе круглой пластинки, когда правая часть уравнения (2) является линейной функцией, а именно $q = \frac{Px}{R}$, где R – радиус пластинки. На рис. 4 показана зависимость граничных значений функции Δw для задачи II от нормированной дуговой координаты для алюминиевой пластинки радиуса $R = 1$ м, толщины $h = 0.02$ м; $P = 1$ Н/м. Сплошная линия соответствует точному решению, точки – значениям, полученным численно при $N = 60$.

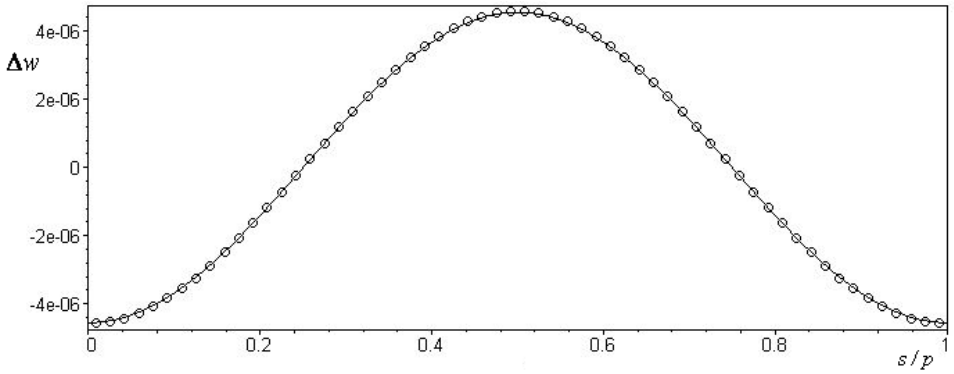


Рис. 2 – Граничные значения искомой функции примера 2

Заключение

Численный алгоритм, разработанный А.Г. Терентьевым и автором, позволяет найти решение задач изгиба тонких пластинок в случаях жестко заделанного и опертого края. Из примеров видно, что наблюдается хорошее совпадение численных и аналитических результатов, что свидетельствует об эффективности разработанного численного алгоритма. Он может использоваться для решения задач изгиба тонких пластинок произвольной формы. Обоснование метода рассмотрено в [2].

Список литературы

1. *Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С.* Пластинки и оболочки. – М.: Наука, 1966.
2. *Казакова А.О., Терентьев А.Г.* Численное решение краевых задач для полигармонического уравнения // Журнал вычислительной математики и математической физики. Т. 52, №11, 2012. С. 2050 – 2059.
3. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория упругости. – М.: Наука, 1987.
4. *Terentiev A.G., Kirschner I.N., Uhlman J.S.* The Hydrodynamics of Cavitating Flows. Backbone Publishing Company, USA, 2011.

05.07.09

А.И. Калашников, Д.В. Моисеев, С.Г. Моисеева

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра системного анализа и управления, Аэрокосмический факультет,
Москва, alex-aka@mail.ru

О ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ В МИССИИ «РАДИОАСТРОН»

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 11-08-00639-а)

В статье обсуждается возможность повышения эффективности миссии «РАДИОАСТРОН» за счет применения процедуры оптимального планирования наблюдений. Проанализированы проблемы, возникающие при решении задачи оптимального краткосрочного планирования наблюдений в миссии «РАДИОАСТРОН». Предложены пути их решения.

Ключевые слова: *Эффективность миссии, планирование наблюдений, динамическое программирование, космический радиотелескоп.*

Космический радиотелескоп (КРТ) «Спектр–Р», запущенный в июле 2011 года, пройдя стадию испытаний, вышел на этап проведения регулярных научных наблюдений. До сих пор проводились наблюдения сравнительно небольшого количества самых ярких из известных радиоисточников в целях более детального их изучения. В настоящее время этап реализации ранней научной программы завершился и начался этап открытых исследований, на котором любая группа исследователей со всего мира может предложить для наблюдения свой объект. В результате, количество объектов, предлагаемых для наблюдения, будет возрастать и возникнет ситуация конкуренции между возможными объектами наблюдения. Таким образом, необходимо задуматься о возможности повышения эффективности целевого функционирования космического радиотелескопа. В первую очередь речь идет о возможности составления оптимальных, в том или ином смысле, программ наблюдения. В данной статье рассмотрена та часть общей задачи управления космическим радиотелескопом, при решении которой определяется какие именно объекты на очередном периоде планирования будут включены в план и в какой момент должно начинаться наблюдение каждого из них, то есть так называемая задача оперативного планирования наблюдений. Оптимальное оперативное планирование наблюдений предполагает включение в процедуру планирования решение определенной оптимизационной задачи. Решением этой задачи является последовательность наблюдаемых на периоде планирования объектов, удовлетворяющая ряду ограничений, и являющаяся оптимальной по определенному критерию.

Технически космический радиотелескоп миссии «РАДИОАСТРОН» представляет собой космический аппарат с антенной диаметром 10 метров, размещенный на высокоэллиптической орбите. Используемый в данной миссии метод наблюдения - радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами, обеспечивается использованием одновременно космического и наземного радиотелескопа. Регистрация научных данных осуществляется всегда в режиме непосредственной передачи на одну из телеметрических станций, которая, к тому же, обеспечивает синхронизацию частоты на борту космического аппарата через непрерывно работающую двустороннюю радиолинию. Эти особенности налагают специфические ограничения, которые отражаются в следующих требованиях:

- видимость исследуемого источника для космического радиотелескопа;
- видимость источника с трех наземных радиотелескопов одновременно;
- видимость космического радиотелескопа с одной из станций слежения.

Ряд ограничений обусловлен требованиями штатной работы космического радиотелескопа. В частности, для поддержания теплового режима необходимо, чтобы угол между электрической осью +X аппарата и направлением на Солнце лежал в диапазоне (90°, 165°) [5].

При радиосвязи по линии космический радиотелескоп – наземная станция приема, вектор линии визирования радиотелескоп – наземная станция должен находиться внутри допустимой области углов поворота привода остронаправленной антенны.

Учитываются также ограничения на засветку КРТ от Солнца, Земли и Луны, а также ограничения на ориентацию антенн наземных станций.

При эксплуатации космического радиотелескопа стремятся к увеличению объема, качества и ценности научной информации, с одной стороны, и экономии технических ресурсов с другой. Это обуславливает появление двух групп критериев.

К первой группе критериев можно отнести, например, количество наблюдаемых источников или суммарное время наблюдения на периоде планирования. Примером критерия второй группы является величина суммарного угла переориентаций на периоде планирования.

Кроме того, на протяжении жизненного цикла космического радиотелескопа актуальность критериев меняется. Например, по мере исчерпания рабочего тела, необходимого для ориентации и стабилизации аппарата, возрастает интерес к нахождению программ наблюдения, минимизирующих расход рабочего тела или число переключений бортовой аппаратуры для увеличения срока службы КРТ.

При выполнении ранней научной программы придерживались методики планирования основанной на приоритетах. Особый интерес при этом вызывали наиболее перспективные источники, приоритет которых был безусловным. С первыми результатами исследований «РАДИОАСТРОН» можно ознакомиться в [3]. Привязка сеанса внутри интервала видимости является важной задачей в составлении программы наблюдений, так как его расположение непосредственно оказывает влияние на состав программы наблюдений и качество исследования. Также существенное влияние оказывает и время накопления сигнала, которое по организационно-техническим факторам было выбрано равным 2 часам.

Для решения данной задачи в АКЦ ФИАН был доработан и дополнен пакет программ для долгосрочного планирования в полуавтоматическом режиме, включающий программы FAKESAT, SCHED и RASS.

Сеанс наблюдения для каждого объекта можно разместить на витке орбиты несколько раз, однако располагается он вполне определенным образом так, что выполняются ограничения по видимости и передаче научной информации, условия по времени накопления сигнала и тепловому режиму КРТ, требования по разрешению и составу наземных средств наблюдения. В случае, когда сеанс наблюдения априори привязан к определенному интервалу времени, задача оперативного планирования наблюдений становится похожей на задачу планирования наблюдений земной поверхности с борта ИСЗ. Решение ее может быть получено с помощью, например, динамического программирования [1].

Если сеансы наблюдения источников не привязаны во времени и длительность сеанса наблюдения больше интервала видимости, то методы математического программирования не годятся, поскольку количество возможных альтернатив в программе наблюдения становится теоретически бесконечным. Исследования показывают, что в таком случае более конструктивным является использование формализма динамического программирования. Процесс составления программы наблюдений при этом может быть представлен как процесс, состоящий из n шагов по времени [2]. На каждом шаге решается вопрос о добавлении очередного объекта в план наблюдений.

Данная задача обладает рядом специфических свойств:

1. Эффектом последействия, который снимается путем введения дополнительных переменных, соответствующих включенным в план объектам;

2. Теоретически задача может иметь высокую размерность, однако, при шаге дискретизации сопоставимом с продолжительностью наблюдения она практически может быть решена.

Описание процедуры динамического программирования можно найти в [4]. Применение данного подхода к решению задачи планирования с нефиксированным временем начала наблюдения позволяет разместить на всем интервале планирования исследуемые объекты оптимальным образом. Постановка задачи оптимального планирования наблюдений как задачи динамического программирования сводится к следующему:

1. Процесс делится на шаги по времени с учетом требуемой точности составления плана;

2. Переменными управления u_{i} будут номера и время начала наблюдения каждого объекта. На каждом шаге рассматривается дуальное управление – добавляется ли определенный объект в план наблюдения, или нет. $U_{\text{доп}}$ – множество допустимых управлений сформированное с учетом ограничений на управление;

3. Параметр состояния ξ_{i} на каждом шаге описывает не только предыдущий объект наблюдения, но и хранит все управления произведенные до *i-1* шага;

4. Уравнение состояния имеет следующий вид: $\xi_i = \xi_{i-1} + u_i$

5. Показатель эффективности на *i*-ом шаге определяется как $f_j = \frac{\text{R}_{\text{i}}}{\text{R}_{\text{i}}^{\text{треб}}}$, где R – конфигурация интерферометра (длина базы);

6. Условный максимум показателя эффективности от *i*-го шага $Z_i^*(\xi_{i-1})$ представляет собой сумму полученного эффекта на *i*-ом шаге.

7. Допустимое управление на каждом шаге определяется из условий видимости объекта наблюдения, условия не пересечения сеансов наблюдения и условия уникальности каждого сеанса наблюдения (объект наблюдается один раз, объект может наблюдаться несколько раз с разными настройками целевой аппаратуры);

8. Рекуррентное соотношение на *i*-ом и заключительном шагах примет соответственно вид:

$$Z_i^*(\xi_{i-1}) = \max_{\substack{u_i=1,0 \\ u_i \notin \xi_{i-1} \\ u_i \in U_{\text{доп}}}} \{ f_i(u_i) + Z_{i+1}^*(\xi_i) \}, i = \overline{n-1,1}$$

$$Z_{\text{n}}^*(\xi_{n-1}) = \max_{\substack{u_n=1,0 \\ u_n \notin \xi_{n-1} \\ u_n \in U_{\text{доп}}}} \{ f_n(u_n) \}$$

В результате решения этих уравнений в обратном порядке получим условно оптимальные последовательности функции будущих потерь и управления, соответственно: $Z_{\text{n}}^*(\xi_{n-1}), Z_{\text{n-1}}^*(\xi_{n-2}),..., Z_1^*(\xi_0)$ и $u_{\text{n}}^*(\xi_{n-1}), u_{\text{n-1}}^*(\xi_{n-2}),..., u_1^*(\xi_0)$.

Проведя заключительную операцию безусловной оптимизации в прямом порядке и получив оптимальное управление на первом шаге последовательно найдем безусловное оптимальное управление на каждом шаге.

4.Заключение

1. Описана действующая методика оперативного планирования и предложены меры увеличения ее эффективности путем дополнения данной методики процедурой оптимального оперативного планирования наблюдений.

2. Для повышения эффективности составления плана наблюдений с фиксированным временем начала сеансов наблюдения предлагается решать задачу оптимизации оперативного плана, формализуя ее как задачу математического программирования.

3. При нефиксированном времени наблюдения предлагается использовать формализм динамического программирования.

4. Для решения поставленной задачи было разработано специальное программное обеспечение для моделирования целевого функционирования космического радиотелескопа и составления программы наблюдения для фиксированного времени начала наблюдения.

Список литературы

1. *Калашников А.И., Моисеев Д.В.* Задача планирования астронаблюдений и методы ее решения // Системный анализ, управление и навигация: тезисы доклада межд. конф. (Евпатория, июль 2011г.) – М. 2011г.
2. *Калашников А.И., Моисеев Д.В.* Процедура планирования наблюдений с ИСЗ СПЕКТР-Р в настоящее время и в перспективе // Системный анализ, управление и навигация: тезисы доклада межд. конф. (Евпатория, июль 2012г.) – М. 2012г.
3. *Кардашев Н.С., Хартов В.В.* [и др.] «РАДИОАСТРОН» – телескоп размером 300000 км: Основные параметры и первые результаты наблюдений / / Астрономический журнал, март 2013, том 90, №3, с. 179.
4. *Пападимитриу Х., Стайглиц К.* Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. - М.: Мир, 1985.
5. Протокол функциональных ограничений на ориентацию бортовых и наземных средств проекта РАДИОАСТРОН. URL: http://www.asc.rssi.ru/radioastron/documents/constr/constr_rus.html (дата обращения 03.12.13).

05.07.05

В.В. Карманов, Н.В. Винокуров, А.Н. Волегов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра ИТМ, Пермь, tka@pstu.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ПЛАСТИН ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1151АТ ТОЛЩИНОЙ 3 ММ

Отработана технология сварки трением с перемешиванием пластин из сплава 1151АТ толщиной 3 мм. Исследован характер разрушения образцов. Исследована микроструктура и дефекты сварного соединения.

Ключевые слова: *сварка трением с перемешиванием, алюминиевые сплавы, 1151АТ, технология СТП, параметры СТП, инструмент для СТП.*

Сварка трением с перемешиванием является процессом соединения или сварки в твердом состоянии. В процессе сварки трением с перемешиванием вращающийся инструмент, содержащий наконечник и опорный бурт, внедряется или, вернее, погружается между двумя свариваемыми образцами, генерируя тепло за счет трения. После того как нагрев достигает требуемого уровня, инструмент перемещается вдоль места соединения. Доведенный до пластичного состояния основной материал проходит вокруг инструмента, где он уплотняется в результате действия силы, приложенной опорным буртом инструмента.

Жаропрочный алюминиевый сплав 1151АТ применяется в отечественном авиастроении при изготовлении деталей газотурбинных двигателей (ГТД) и газотурбинных установок (ГТУ). Для создания неразъемного соединения деталей из этого сплава ранее использовались электроннолучевая сварка и клепка. Первый способ не удовлетворяет требованиям к сварным швам II категории по ТУ08.018 (согласно ТУ08.018 предел прочности должен быть не менее 80% от прочности основного материала), второй способ приводит к значительному увеличению массы конструкции, что отрицательно сказывается на летных характеристиках изделия.

Жаропрочный алюминиевый сплав 1151АТ является уникальной разработкой отечественного производителя и не имеет аналогов в мире. Для отработки технологии СТП применялся листовой материал толщиной 3 мм закаленный и естественно состаренный со следующими характеристиками: σ_b 420 МПа, $\sigma_{0,2}$ 330 МПа, δ 13-17 % .

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «ПНИПУ» при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор №02.G25.31.0016) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства». Опытные работы велись на базе лаборатории кафедры «Инновационные технологии машиностроения» на специализированной исследовательской установке для сварки трением с перемешиванием I-Stir PDS5 (MTS, США).

Ориентировочные режимы процесса СТП были подобраны исходя из опыта зарубежных ученых по сварке алюминиевых сплавов серии 2ххх, близких по содержанию основных легирующих элементов.

Инструмент для сварки был изготовлен из инструментальной стали, его конструкция была изменена в процессе отработки технологии. Первоначально наконечник инструмента был в форме усеченного конуса с однозаходной мелкой резьбой (рис.1 а), в последствии на конической поверхности были сделаны три фаски для улучшения перемешивания (рис.1 б). В конструкцию опорного бурта изменения не вносились.

На наконечнике выполнена левая резьба для перемещения расплава металла вниз к корню шва, спиральная канавка на опорном бурте при положительном вращении перемещает материал к наконечнику, что препятствует появлению излишнего облоя. Данные конструктивные особенности способствуют большему трению, лучшему перемешиванию материала, а также уплотнению шва.

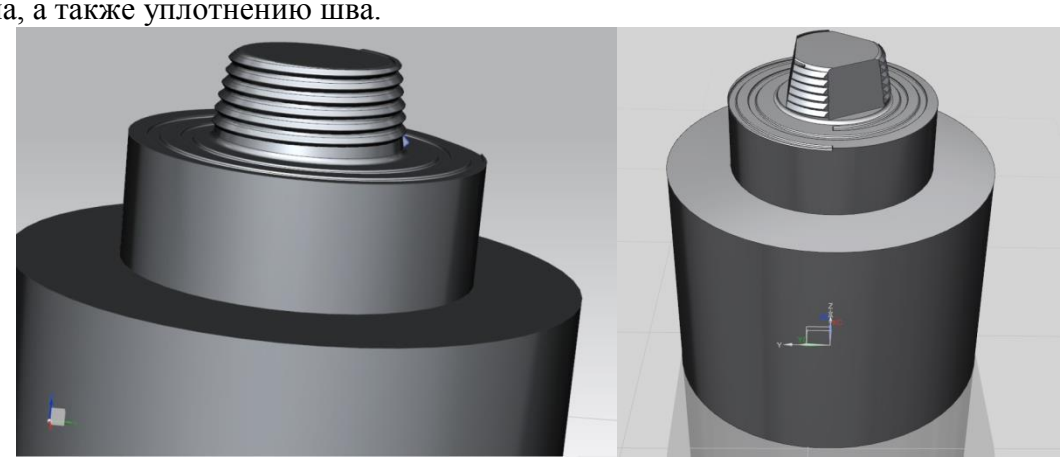


Рис.1 - Инструмент для СТП: а – усеченный конус с мелкой однозаходной резьбой; б – усеченный конус с фасками на конической поверхности.

На первом этапе отработки технологии сварка осуществлялась по компактному материалу с управлением по координате, т.е. по заданной глубине погружения инструмента. Это необходимо для определения диапазона осевого усилия, возникающего при сварке. После этого при помощи визуального осмотра определялся участок без видимых дефектов и с хорошим качеством поверхности, усилие на данном участке принималось за основу дальнейшей работы.

На втором этапе осуществлялась сварка с управлением по усилию. При таких условиях станок автоматически управляет заглублением инструмента при постоянном воздействии осевой нагрузки. Качество сварного шва в данном случае не зависит от неровностей стола, подложки или самой пластины. Усилие выбирается при сопоставлении графика зависимости усилия от координаты и внешнего вида шва. Во время второго этапа выбирается оптимальная скорость вращения.

Третий этап включает в себя отработку технологии на пластинах. Основным критерием, влияющим на качество соединения, является подготовка стыка к сварке. Пластины должны стыковаться без зазора, чтобы исключить возникновение пор и непровара в материале шва. Перед сваркой пластины очищаются и обезжириваются для предотвращения попадания в шов различных включений. На данном этапе выбирается оптимальная скорость продольной подачи.

После получения внешне бездефектного сварного шва необходимо произвести исследование структуры материала на наличие внутренних дефектов, а также его механических свойств для дальнейшей оптимизации технологии.

В процессе разработки был найден режим, обеспечивающий качество сварного соединения, удовлетворяющее ТУ08.018: скорость продольной подачи ν=300 мм/мин, частота вращения шпинделя ω=1000об/мин, угол наклона инструмента относительно нормали α=1,5º. Для определения прочностных характеристик были изготовлены образцы по ГОСТ 6996-66. Испытания на разрыв при нормальной температуре показали, что прочность $\geq$ 80% от прочности основного материала. Исследование микроструктуры не выявило наличие пор и включений (рис.2). На рис.3 показан снимок места разрыва образца. На снимке видно, что структура в шве мелкозернистая и соответствуют основному материалу. Характер разрушения вязкий.

Рис. 2 – Микроструктура материала сварного шва.

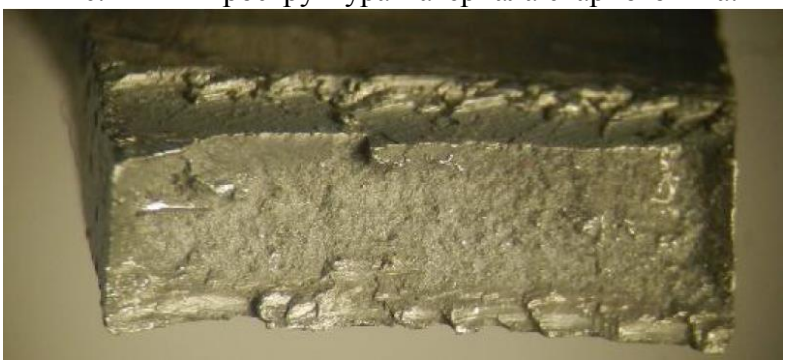


Рис. 3 – Вид на излом по месту разрушения образца.

Для дальнейшей разработки технологии СТП был изготовлен инструмент в форме усеченного конуса с тремя крупными резьбовыми насечками (рис.4). Инструмент был изготовлен из инструментальной стали и был закален. Благодаря более рельефной форме увеличивается интенсивность перемешивания и поэтому скорость вращения для данного инструмента, намного ниже.

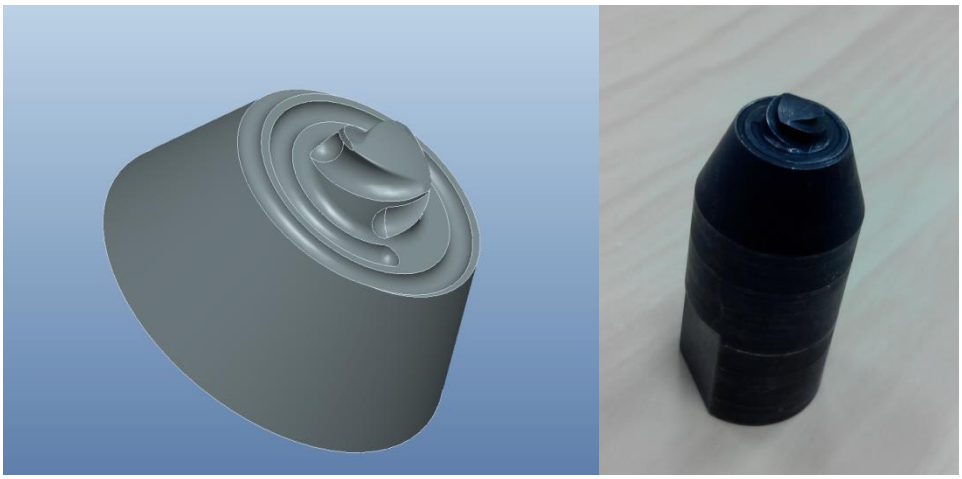


Рис.4 Инструмент для СТП: усеченный конус с крупными резьбовыми насечками.

Для апробации технологии с новым инструментом необходимо было пройти заново все этапы отработки. В результате были найдены оптимальные параметры сварки: скорость продольной подачи ν=280 мм/мин, частота вращения шпинделя ω=500об/мин, угол наклона инструмента относительно нормали α=1,5º.

В результате работы было получено два технологических режима сварки трением с перемешиванием сплава 1151АТ для двух различных конструкций инструмента. В процессе отработки было выполнено свыше 15 метров шва, проведено более шестидесяти испытаний на прочность. В таблице приведены результаты основных испытаний.

Таблица – Результаты механических испытаний сварных швов.

Тип образцов	Макс. нагрузка (кН)	Макс. напряжение при растяжении (МПа)	Макс. деформация при растяжении (%)
Основной материал	16,16451	418,27118	19,61970
	16,09921	416,58151	16,11051
	15,91205	411,33417	14,15612
Инструмент 1	8,81009	326,29967	2,95719
	9,21336	348,72004	4,47366
	9,36601	346,88922	4,37545
Инструмент 2	9,62986	336,76957	8,19335
	9,69467	344,59395	6,51899
	9,65689	339,25133	6,71488

В дальнейшем планируется использовать результаты данного исследования в разработке технологии изготовления опытного образца элемента конструкции обтекателя мотогондолы ГТД в уменьшенном масштабе.

Список литературы

1. Friction Stir Welding and Processing / ed. by R.S. Mishra, M.W. Mahoney. – Materials Park, OH, ASM International. – 2007.

05.07.05

Л.Л. Картовицкий, В.М. Левин, А.А. Яковлев

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет) «МАИ»,
Tempero.m@gmail.com

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ НЕРАВНОВЕСНЫХ СТРУЙ В ПРОСТРАНСТВЕННОМ КАНАЛЕ

Обсуждается вариант подхода к решению проблемы повышения эффективности систем смесеобразования в каналах камер сгорания на уровне концепции. Трехмерное моделирование подтверждает правильность предложенного технического решения.

Ключевые слова: *канал, смешение, струя, вдув , трехмерное моделирование, ANSYS CFX.*

Как показывает анализ конструкций современных систем организации смешения компонентов в камере дожигания все реализованные технические решения имеют ряд недостатков. Так, например, пониженное значение эффективности рабочего процесса силовой установки, особенно в начальных сечениях, свойственно целому ряду таких решений. Это видно из анализа статистических данных [1] представленных на рисунке 1.

Можно выделить следующие основные недостатки существующих конструкций:

1. Компоненты по объему смешения распределены неравномерно, что приводит, особенно в схемах с несимметричным расположением воздухозаборников, к неравномерному дожиганию топлива по длине камеры сгорания.
2. Малая эффективность процесса перемешивания сверхзвуковых струй в потоках с вектором подачи, направленным вдоль оси проточного тракта - необходимо использовать каналы переразмеренной длины.
3. Завышенные потери полного давления при подаче основного топлива со сверхзвуковой скоростью в сносящий воздушный дозвуковой поток.

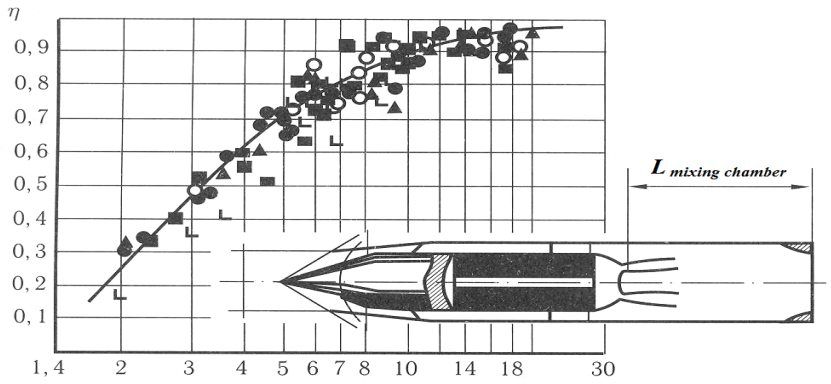


Рисунок 1. Эффективность рабочего процесса .

Учитывая сказанное, способ газодинамического вдува в сносящий поток в принципе следует признать малоэффективным с точки зрения организации процесса эффективного перемешивания и горения в камере дожигания. В качестве способа, обеспечивающего эффективность смешения разнородных газовых струй по объему камеры путем перераспределения компонентов, предлагается определенным образом структурировать газодинамический поток, используя механизм вихреобразования. При этом, как предполагается, распределение разнородных компонентов в объеме смешения должно стремиться к более равномерному, что позволит существенно выровнять поля концентраций еще в начальных сечениях камеры дожигания и обеспечить эффективность горения на меньшей ее длине.

В этой связи может быть сформулирована задача оптимизации, решение которой направлено на улучшение эффективности процесса смешения в камере дожигания в целом. Результатом такой оптимизации является оптимальное конструктивное решение для зоны смешения разнородных газовых потоков, минимизация габаритов камеры зоны горения, оптимизация геометрии проточной части и расширение диапазона устойчивой работы.

Задача поиска оптимального, стремящегося к равномерному, распределения генераторного газа в сносящем потоке сводится к выбору геометрии проточной части и формированию зоны обратных токов (следовой зоны), обеспечивающих равномерное стекание газа в сносящий поток. Расход генераторного газа, как уже было сказано, в заданных условиях изменяется в пределах критического перепада давлений. Поэтому оптимальная картина равномерного (по высоте стойки) распада газовой струи реализуется для определенного диапазона расходов генераторного газа применением обтекаемых газодинамических стоек. Одновременно гарантируется сверхзвуковой перепад давления в критическом сечении сопловой вставки узла дозирования во всем диапазоне перемещения центрального тела регулятора расхода генераторного газа.

Очевидно, что организация раннего смесеобразования воздуха и генераторного газа ведет к увеличению времени пребывания подготовленной смеси (не отдельных компонент) в канале. Этот факт позволяет утверждать, что интенсификация массообмена на ранней стадии процесса формирования смеси приводит к укорочению длины пути смешения и сокращению расстояния от распределительной головки до сечения полного перемешивания.

Процедура оптимизации схемы смешения газовых потоков предполагает исключение контакта газа и, соответственно, продуктов горения со стенками конструкции проточного тракта. Места ожидаемых «опасных» зон взаимодействия потока газа со стенкой можно предсказать, используя численное моделирование. К указанным опасным зонам относится зона срыва рабочего газа с верхних кромок газодинамических стоек, где вектор движения газовой струи направлен на стенку канала. Следует указать на зоны контакта вихрей, омывающих проточную часть зоны смешения со стенками камеры дожигания.При разработке и анализе газодинамической схемы, повышающей эффективность процесса смешения потоков, в качестве критерия оптимизации могут быть приняты следующие параметры:

1. Эффективное перемешивание подаваемых компонентов. Достоверно оценивать эффективность можно по расстоянию от сечения подачи генераторного газа до сечения в камере сгорания, в котором локальные значения коэффициента избытка воздуха принимают значения $\alpha > 1{,}2$.

2. Равномерный и минимальный прогрев элементов конструкции прямоточной камеры, характеризуемый отсутствием локальных зон перегрева стенок канала с температурой, превышающей допустимый уровень для данных материалов конструкции камеры.

3. Минимальные потери полного давления для предлагаемой вихревой структуры газодинамического перемешивания.

В работе выполнен анализ вариантов, характеризуемых такими параметрами оптимизации как:

– геометрия, форма и количество точек газодинамического вдува газа в следовую зону газодинамической стойки;

– углы наклона отверстий подачи генераторного газа (вектора инжекции) относительно продольной оси стабилизаторов;

– соотношение расходов вспомогательного и основного топлива.

Целью такого анализа является определение физических параметров, существенно влияющих на процессы смесеобразования. Данная работа позволит оценить степень нашего понимания газодинамических процессов и, главное, способов воздействия на рабочий процесс и управление им при выполнении условия минимальных газодинамических потерь. Одной из важнейших задач является проверка и демонстрация возможностей программы расчета и ее применимости для анализа проблем газодинамических процессов смешения.

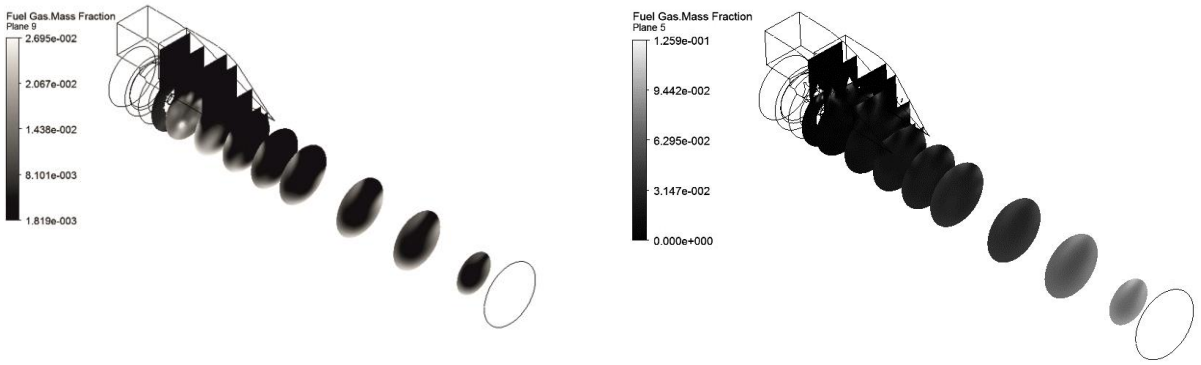
Для анализа газодинамических процессов, параметров потока и картины течения используется программа ANSYS CFX, дающая возможность:

– получения картины линий тока и движения компонентов в потоке;

– представление об эффективности функционирования возможных способов газодинамического смешения;

– о структуре вихреобразований и пространственной картине массообмена.

Важнейшим параметром при поиске оптимального способа смесеобразования является знание физико-химических параметров топлива, что, в конечном счете, определяет расход топлива. В рамках проводимого анализа использовалось «условное» топливо с целью выявления свойств предлагаемой концепции смесеобразования, её эффективности и, соответственно, целесообразности ее применения.



а) б)

Рисунок 2. Картина течения в исходном (а) и оптимизированном (б) каналах

На этапе вышеприведенных исследований в рамках примененной концепции регулирования наметился способ управления распределением компонентов в ограниченном потоке. Необходимо отметить, что положительный эффект достигается также регулированием картины вытекания (слива) топлива из следовой зоны посредством изменения угла наклона основных отверстий. Некоторые результаты расчетов представлены на рисунке 2 . На рисунке 2(а) показано поле концентрации условного топлива канале, а на рисунке 2(б) – после проведения оптимизации.

С учетом полученного эффекта в рамках данной работы представляется целесообразным дальнейшее изучение способов управления смешением компонентов, основанных на изменении геометрии проточной части. Важным параметром управления является выбор вектора топливоподачи в следовую зону. В результате предварительных расчетных исследований, проведенных с применением различных комбинаций и сочетаний конструктивных параметров устройства, наметилось понимание способов управления процессом смешения, т.е. приемов или факторов, оказывающих определяющее воздействие на механизм смесеобразования.

Список литературы

1. *В.А.Сорокин и др.* Ракетно-прямоточные двигатели на твердых и пастообразных топливах. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2010.

2. *В.Н.Аврашков и др.* Особенности методологии экспериментальных исследований рабочего процесса в камерах сгорания ПВРД в МАИ. Труды XX научных чтений по космонавтике. М.: ИИЕТ РАН. 1996.

3. J. *Schetz.* Injection and mixing in turbulent flow. By American Institute of Aeronautics and Astronautics. 1980.

05.13.06

А.И. Каяшев, Т.В. Сазонова, В.Р. Сабанчин, В.А. Суликова

Кумертауский филиал Оренбургского государственного университета,
Кумертау, vener_1991@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОМЕРНОГО ЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКАМИ ТЕРМООБРАБОТКИ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ

В работе представлены результаты изучения устойчивости многомерного четкого регулятора с интервальной неопределенностью.

Ключевые слова: *Четкий регулятор, устойчивость системы, установки термообработки стройматериалов.*

Трудности исследования устойчивости многомерного четкого регулятора с интервальной неопределенностью (МЧРсИН) обусловлены двумя основными обстоятельствами: установки термообработки стройматериалов являются многосвязными нелинейными объектами управления; из-за сложности технологических процессов, протекающих в этих установках их адекватная и достоверная интерпретация представляется возможной только в виде словесного описания экспертов предметной области (вербально) [4].

Рассмотрим устойчивость системы управления на примере системы управления строительным автоклавом [1] с помощью шестимерного четкого регулятора с интервальной неопределенностью. Для исследования устойчивости МЧРсИН классическими методами [3] введены следующие допущения: с точки зрения устойчивости все контуры МЧРсИН находятся в одинаковых условиях, вследствие чего достаточно исследовать устойчивость одного контура регулятора [2]; поведение отдельно взятого контура регулятора анализируется в окрестностях точки равновесия ±190^{o}C, где систему можно считать линейной [3]; при снятии кривой разгона отдельно взятого контура МЧРсИН остальные его контуры работают в штатном режиме.

Упрощающим фактором решения рассматриваемой задачи является сама специфика работы МЧРсИН: при передаче управления от одного продукционного правила к другому задающее воздействие в контурах МЧРсИН изменяется скачкообразно [4]. В таких условиях функция регулируемого параметра представляет собой отрезки кривых разгона, инициированных скачками (не единичными) сигнала задания. Отсюда вывод: если МЧРсИН устойчиво работает при подаче на его вход единичного скачка, то тем более он будет работать устойчиво, если на тот же вход подается скачок с меньшей амплитудой. Именно такая ситуация имеет место при функционировании МЧРсИН в штатном и аварийном режимах.

С учетом перечисленных допущений и особенностей МЧРсИН определение его устойчивости для стабилизации температуры в автоклаве на стадии изотермической выдержки при постоянном давлении сводится к определению устойчивости одного из его контуров по известной методике [2], использующей экспериментально снятую кривую разгона для получения математической модели объекта управления по методу Симою М.П.. Поэтому в дальнейшем анализ устойчивости производится только для одного контура, например, контура «F_1 – T_1» (F_1 – первый из шести контуров регулирования подачи пара в автоклав; T_1 - температура внутри автоклава в окрестности точки подачи пара).

В реальных условиях работы регулятора температура изменяется в диапазоне +(160 ÷ 191)^{o}C. И роль регулятора в данном случае сводится к стабилизации температуры на отметке T_1=190^{o}C путем компенсации тепловых потерь, вызванных естественным охлаждением автоклава. Координаты точек кривой разгона приведены в таблице 1. Из рисунка 1 следует,

что чистое запаздывание контура «F_1 – T_1» МЧРсИН, регулирующего температуру в точке рабочего пространства автоклава, составляет 4 мин.

С целью получения наиболее достоверной модели автоклава методом «площадей» Симою [2] определим параметры для трех моделей объекта. Вначале определяется коэффициент усиления автоклава:

$$K = \frac{X_{вых.уст}}{X_{вх}} = \frac{190}{1} = 190 \ \ °C/кДж. \quad (1)$$

Для расчета параметров моделей методом площадей вводится нормированная кривая разгона:

$$\overline{h(t)} = \frac{\Delta X_{вых}(t)}{\Delta X_{уст}}. \quad (2)$$

Расчет координат точек нормированной кривой разгона приведен в таблице 1, а её график изображен на рис.1.

Таблица 1 – Расчет значений нормированной кривой разгона

t	$\Delta X_{вых}(t)$	$\overline{h(t)}$
0	20	0,105
10	23	0,121
20	28	0,147
30	37	0,195
40	50	0,263
50	67	0,353
60	88	0,463
70	110	0,579
80	132	0,695
90	152	0,8
100	170	0,895
110	182	0,958
120	188	0,989
130	190	1
140	190	1

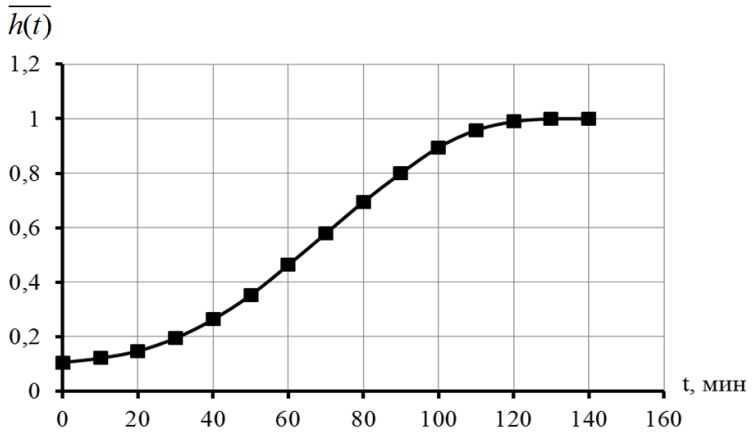


Рис.1. Нормированная кривая разгона

Введем в рассмотрение вспомогательную функцию φ(t) [4], определяемую формулой:

$$\varphi(t) = 1 - \overline{h}(t). \quad (3)$$

Расчет значений вспомогательной функции $\varphi(t)$ приведен в таблице 2. На рис.2 приведен график вспомогательной функции $\varphi(t)$.

Таблица 2 – Значения вспомогательной функции $\varphi(t)$

T	$\Delta X_{вых}(t)$	$\overline{h(t)}$	$\varphi(t) = 1-\bar{h}(t)$
0	20	0,105	0,895
10	23	0,121	0,879
20	28	0,147	0,853
30	37	0,195	0,805
40	50	0,263	0,737
50	67	0,353	0,647
60	88	0,463	0,537
70	110	0,579	0,421
80	132	0,695	0,305
90	152	0,8	0,2
100	170	0,895	0,105
110	182	0,958	0,042
120	188	0,989	0,0105
130	190	1	0
140	190	1	0

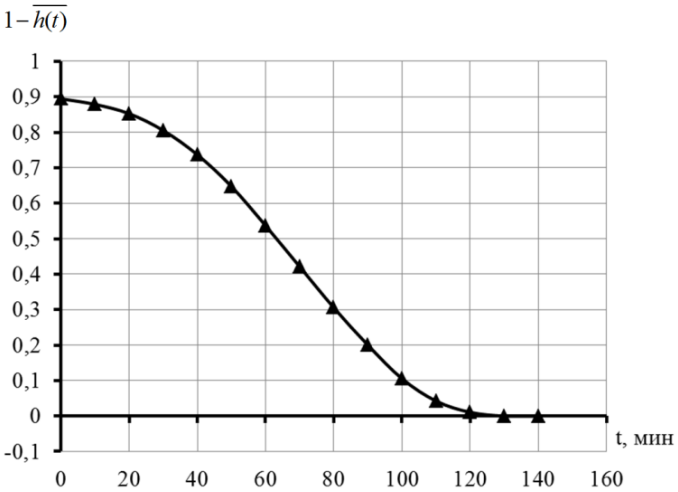


Рис. 2. График вспомогательной функции $\varphi(t)$

Моменты μ_k вспомогательной функции $\varphi(t)$ вычисляются по формулам:

$$\mu_0 = \int_0^\infty \varphi(t)dt;$$
$$\mu_1 = \int_0^\infty (-t)\varphi(t)dt; \quad (4)$$
$$\mu_k = \frac{1}{k!}\int_0^\infty (-t)^k \varphi(t)dt.$$

Для вычисления интегралов в формулах моментов используется метод трапеций. Согласно формуле трапеций интеграл вида

$$S = \int_0^{T_n} y(t)dt \quad (5)$$

заменяется суммой:

$$S \approx \Delta t\left\{\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + \ldots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2}\right\} = \Delta t\left\{\frac{y_0 + y_n}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} y_i\right\}, \quad (6)$$

где *y(t)* – выходной параметр регулятора, то есть в данном случае это T_1.

Получаем следующие формулы для вычисления моментов:

$$\mu_0 = \Delta t\left\{\sum_{i=1}^{n-1}\varphi(i\Delta t) + 0.5\varphi(0)\right\} = \Delta t\left\{\sum_{i=1}^{n-1}\left(1-\bar{h}(i\Delta t)\right) + \sum_{i=1} 0.5\left(1-\bar{h}(0)\right)\right\};$$
$$\mu_1 = \Delta t\sum_{i=1}^{n-1}(-i\Delta t)\varphi(i\Delta t); \quad (7)$$
$$\mu_2 = \frac{\Delta t}{2!}\sum_{i=1}^{n-1}(-i\Delta t)^2\varphi(i\Delta t);$$
$$\mu_k = \frac{\Delta t}{k!}\sum_{i=1}^{n-1}(-i\Delta t)^k\varphi(i\Delta t).$$

Расчет коэффициентов (моментов) по методу «площадей» Симою приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет коэффициентов по методу «площадей» Симою

t	$\Delta X_{вых}(t)$	$\varphi(t)=1-\bar{h}(t)$	$(-t)\varphi(t)$	$(-t)^2\varphi(t)$
0	20	0,895	0	0
10	23	0,879	-8,789	87,895
30	37	0,805	-24,158	724,737
50	67	0,647	-32,368	1618,421
70	110	0,421	-29,474	2063,158
90	152	0,2	-18	1620
110	182	0,042	-4,632	509,474
130	190	0	0	0
140	190	0	0	0

С использованием данных из таблицы 3 находятся моменты μ_0, μ_1, μ_2.

По рекуррентным формулам найденных моментов вспомогательной функции $\varphi(t)$ определяются площади:

$$\begin{cases} S_1=\mu_0; \\ S_2=\mu_0 S_1+\mu_1; \\ S_3=\mu_0 S_2+\mu_1 S_1+\mu_2. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} S_1=59{,}893; \\ S_2=59{,}893*59{,}893+(-2323{,}68)=1263{,}542; \\ S_3=59{,}893*1263{,}542-2323{,}68*59{,}893+66171{,}05= \\ =675{,}76. \end{cases} \quad (8)$$

Берутся в рассмотрение три наиболее близкие к экспериментальной модели объекта:

модель 1:

$$W(s)=\frac{K_{об}}{a_2 s^2+a_1 s+1}; \quad (9)$$

модель 2:

$$W(s)=\frac{K_{об}}{a_1 s+1}; \quad (10)$$

модель 3:

$$W(s)=\frac{K(b_1 s+1)}{a_2 s^2+a_1 s+1}. \quad (11)$$

В выражениях (9) – (11) символ s – оператор Лапласа [3].

Далее производится расчет числовых значений коэффициентов пропорциональности упомянутых моделей.

Для первой модели

$$\begin{aligned} a_1&=S_1+b_1; \\ a_2&=S_2+b_1 S_1; \\ 0&=S_3+b_1 S_2. \end{aligned} \quad (12)$$

Так как степень полинома числителя равна 0, то коэффициенты полинома знаменателя a_1, a_2 равны площадям S_1, S_2 соответственно:

$$\begin{aligned} a_1&=S_1=59{,}893; \\ a_2&=S_2=1263{,}542. \end{aligned} \quad (13)$$

В итоге передаточная функция для первой модели принимает вид:

$$W(s)=\frac{190}{1263{,}542s^2+59{,}893s+1}. \quad (14)$$

Для проверки устойчивость системы с помощью критерия Гурвица находится определитель Гурвица: $\begin{vmatrix} 59,893 & 0 \\ 1263,542 & 1 \end{vmatrix}$;

$$\Delta_1=a_1=59,893;$$

$$\Delta_2=a_1\cdot a_2 - a_0\cdot a_3=59,893\cdot 1 - 1263,542\cdot 0=59,893.$$

Диагональные миноры определителя Гурвица больше нуля, поэтому система устойчива.

Для определения теоретической переходной кривой, в среде MathCAD выполнено обратное преобразование Лапласа регулируемого параметра при подаче на вход регулятора единичного скачка:

$$T_5(t)=190-190\cdot\exp(0.0237^*)\cdot\cos(0.015156t)-297.11\cdot\exp(-0.0237t)\times\sin(0.015156t)). \quad (15)$$

Выражение (15) в форме отчета MathCAD:

$$\frac{W(s)}{s}\ \text{invlaplace, s}\ \text{float, 5} \rightarrow 190.-190.\cdot\exp\left[-\left(2.3700\cdot 10^{-2}\right)\cdot t\right]\cdot\cos\left(1.5156\cdot 10^{-2}\cdot t\right)-297.11\cdot\exp\left[-\left(2.3700\cdot 10^{-2}\right)\cdot t\right]\cdot\sin\left(1.5156\cdot 10^{-2}\cdot t\right)$$

На рис.3 представлены кривые разгона для первой модели (теоретическая) и экспериментальная (контура «F_1–T_1» МЧРсИН автоклава).

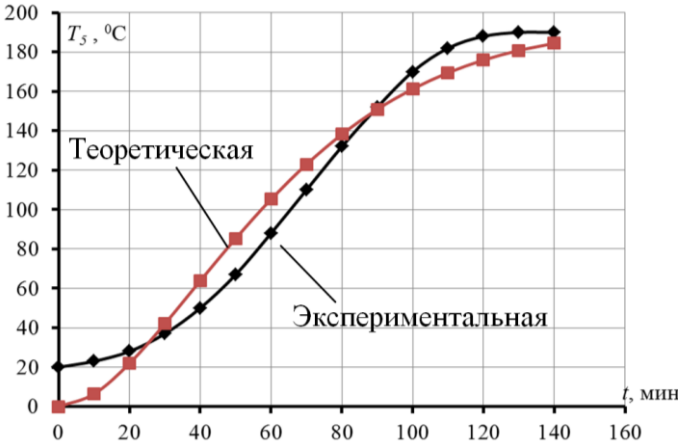


Рис. 3. Сравнение кривых разгона контура «F_1 – T_1» МЧРсИН автоклава и его первой модели

Для исследования второй модели в выражение (10) необходимо подставить значение коэффициента a_1 из (13):

$$W(s)=\frac{190}{59,893s+1}. \quad (16)$$

Система устойчива, поскольку корень характеристического полинома имеет отрицательную вещественную часть: S= -0,016696.

Теоретическая переходная кривая второй модели, найденная в среде MathCAD по обратному преобразованию Лапласа, имеет следующий вид:

$$y(t)=-190\exp(-0.016696t)+190. \quad (17)$$

То же самое в форме отчета MathCAD:

$$\frac{W(s)}{s}\ \text{invlaplace, s}\ \text{float, 5} \rightarrow -190.\cdot\exp\left[-\left(1.6696\cdot 10^{-2}\right)\cdot t\right]+190.$$

Коэффициенты пропорциональности для третьей модели определяются из следующей системы:

$$\begin{cases} a_1=S_1+b_1; \\ a_2=S_2+b_1\cdot S_1; \\ 0=S_3+b_1\cdot S_2. \end{cases} \quad (18)$$

$$b_1=-S_3/S_2=-2675,76/1263,542=-2,1177;$$

$$a_1=S_1+b_1=59,893+(-2,1177)=57,775;$$

$$a_2=S_2+b_1\cdot S_1=1263,542\ (-2,1177)\cdot 59,893=1136,71.$$

Подставив известные данные в выражение (11), получим:

$$\begin{cases} a_1 = S_1 + b_1; \\ a_2 = S_2 + b_1 \cdot S_1; \\ 0 = S_3 + b_1 \cdot S_2. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_1 = 57,775; \\ a_2 = 1136,71; \\ b_1 = 2,1177. \end{cases} \quad (19)$$

$$W(s) = \frac{190(-2,1177s + 1)}{1136,71s^2 + 57,775s + 1} \quad (20)$$

Для проверки устойчивости системы составлен следующий определитель Гурвица:

$$\begin{vmatrix} 57,775 & 0 \\ 1136,71 & 1 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_1 = a_1 = 57,775;$$

$$\Delta_2 = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 = 57,775 \cdot 1 - 1136,71 \cdot 0 = 57,775.$$

Диагональные миноры определителя Гурвица больше нуля, что свидетельствует об устойчивости системы [3].

С помощью формулы обратного преобразования Лапласа и выражения (20) для третьей модели получена теоретическая переходная кривая:

$$T_5(t) = -212,36 + 212,36 \cdot \exp(-0,025413t) \cdot \cos(0.015294t) + 352.88 \cdot \exp(-0.025413t) \cdot \sin(0.015294t)). \quad (21)$$

Выражение (21) в форме отчета MathCAD имеет следующий вид:

$$\frac{'(s)}{s} \left| \begin{matrix} \text{invlaplace}, s \\ \text{float}, 5 \end{matrix} \right. \rightarrow -212.36 + 212.36 \cdot \exp\left[-\left(2.5413 \cdot 10^{-2}\right) \cdot t\right] \cdot \cos\left(1.5294 \cdot 10^{-2} \cdot t\right) + 352.88 \cdot \exp\left[-\left(2.5413 \cdot 10^{-2}\right) \cdot t\right] \cdot \sin\left(1.5294 \cdot 10^{-2} \cdot t\right)$$

Для аналитического определения степени достоверности рассмотренных моделей реальному объекту (автоклаву) произведен расчет средней квадратичной ошибки *($e_1 - e_3$)* аппроксимации.

Модель 1:

$$e_1 = \sqrt{\sum_1^{15} (T_{n1} - T_{Mm})^2} = 47,65, \quad (22)$$

где T_{n1} – значение параметра в точке m для кривой по модели 1; T_{Mm} – знание параметра в точке n для нормированной кривой разгона.

Модель 2:

$$e_2 = \sqrt{\sum_1^{15} (T_{n2} - T_{Mm})^2} = 98,344, \quad (23)$$

где T_{n2} – значение параметра в точке m для кривой по модели 2.

Модель 3:

$$e_3 = \sqrt{\sum_1^{15} (T_{n3} - T_{Mm})^2} = 84,032, \quad (24)$$

где T_{n3} – значение параметра в точке m для кривой по модели 3.

В результате расчета установлено, что минимальное значение средней квадратичной ошибки имеет модель 1 (выражение (22); $e_1 = 47,65$), поэтому она использована в качестве рабочей модели для определения запаса устойчивости МЧРсИН по амплитуде и фазе в среде пакета Mathcad по нормальной амплитудно-фазовой характеристике (АФХ) [3].

С этой целью к передаточной функции первой модели последовательно соединено звено чистого запаздывания, поскольку, как следует из экспериментально снятой кривой разгона (рис.2), промышленный автоклав обладает чистым запаздыванием в 4 мин.:

$$W(s) = \frac{190}{1263,542s^2 + 59,893s + 1} \cdot e^{-4*s}. \quad (25)$$

В среде Mathcad выражение (25) принимает вид:

$$W(s) := \frac{190 \cdot \exp(-4 \cdot s)}{1263,542s^2 + 59,893s + 1} \cdot e^{-4*s}.$$

или с выделением реальной (Re(W(ώ)) и (Im(W(ώ)) мнимой частей:

$$\mathrm{Re}(W(i\cdot\omega))\ \left|\begin{array}{l}\text{complex}\\ \text{float},6\end{array}\right.\rightarrow 190.0\,\mathrm{Re}\left[\frac{e^{-(4.0i)\cdot\omega}}{(59.893i)\cdot\omega+-1263.54\omega^{2}+1.0}\right]$$

$$\mathrm{Im}(W(i\cdot\omega))\ \left|\begin{array}{l}\text{complex}\\ \text{float},6\end{array}\right.\rightarrow 190.0\,\mathrm{Im}\left[\frac{e^{-(4.0i)\cdot\omega}}{(59.893i)\cdot\omega+-1263.54\omega^{2}+1.0}\right]$$

где $i\cdot\omega=s$; i – мнимая единица, а ω – круговая частота.

На рис.4 представлен фрагмент АФХ контура «F_1 – T_1» МЧРсИН для регулирования температуры в автоклаве, из которого следует, что регулятор работает устойчиво (запас устойчивости по амплитуде h=0,34).

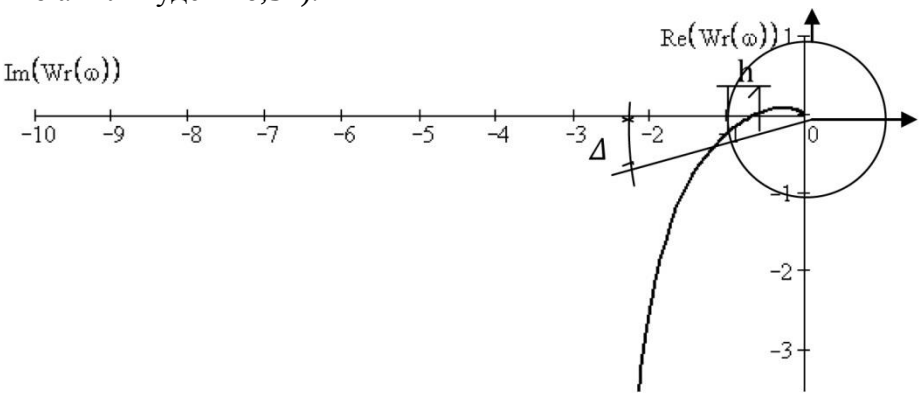


Рис. 4. Фрагмент амплитудно-фазовой характеристики контура «F_1 – T_1» МЧРсИН для регулирования температуры в автоклаве а по фазе $\Delta\varphi=18^{o}$

В реальных условиях эксплуатации автоклава показатели устойчивости будут выше, поскольку скачки управляющего воздействия при регулировании температуры (переход управления от текущего продукционного правила к следующему) будут не от 0 до 27%, а значительно меньше.

Таким образом, предложен метод определения устойчивости МЧРсИН, использующий в составе метода Симою М.П. экспериментально снятую кривую разгона контура регулирования системы управления автоклавом, для которой по упомянутой методике определен запас устойчивости по амплитуде (h=0,34) и по фазе ($\Delta\varphi=18^{o}$).

Список литературы

1. Пат. 118566 Российская Федерация, B 01 J 3/04. Автоклав / Сазонова Т.В., Муравьева Е.А., Яппаров Ф.К.; заявитель и патентообладатель правообладатель – ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет». - № 2012107087/05; заявл. 27.02.2012; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.

2. *Аязян, Г.К.* Определение параметров модели методом площадей Симою: методическое руководство к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности «Автоматизация производственных процессов и производств» / Г.К. Аязян. – Уфа, СФ УГНТУ, 2002 г. – 124 с.

3. *Бесекерский, В.А.* Теория систем автоматического управления: учеб. пособие / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – СПб.: Профессия, 2004. –750 с.

4. *Гузаиров, М.Б.* Управление технологическими процессами, реализованное на четких логических регуляторах / М.Б. Гузаиров, Е.А. Муравьева. – М.: Машиностроение, 2012. – 305с.

05.23.19

А.Ф. Керножитская, Т.В. Германова

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
Инженерно-экономический институт, Кафедра промышленной теплоэнергетики,
Тюмень, Anuta.Ugra@mail.ru, ecogtv@mail.ru

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ АВТОТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К АВТОМАГИСТРАЛЯМ

Представлены результаты позволяющие оценить существующий уровень химического воздействия автотранспорта на конкретной территории. Обоснована необходимость использования этих данных для создания единой информационной базы при принятии планировочных решений как наиболее правильных и обеспечивающих последовательное улучшение условий жизни на городской территории (на примере Тюмени).

Ключевые слова: *атмосферный воздух, выхлопные газы, транспортные потоки, магистральные улицы, планировка города, красная линия.*

Автомобильный транспорт является источником загрязнения атмосферы городов, где воздух не только обедняется кислородом, но и загрязняется вредными компонентами отработавших газов. Неуклонно возрастающая транспортная нагрузка в современной урбанизированной среде является причиной повышенного уровня загрязнения атмосферного воздуха как на прилегающих к транспортным потокам территориях, так и на расстоянии от них. Массовость и постоянно растущие темпы процесса автомобилизации приводят к изменению категорий существующих дорог и улиц. Такая ситуация характерная для многих городов, развивающихся от центрального района во всех направлениях, в результате чего центр начинает испытывать повышенную транспортную нагрузку при невозможности расширения существующих дорог и улиц. В тоже время современное состояние транспортных потоков города как источников повышенного химического загрязнения воздушной среды требует увеличения расстояния от улиц и дорог до жилой застройки.

Нередко повышенный уровень загрязнения атмосферного воздуха возникает в условиях уже сложившейся застроенной территории. В связи с этим значительную роль в обеспечении комфортных условий проживания в городской среде играет грамотное использование приемов планировки с использованием красных линий как основы для установления других линий, определяющих особые условия использования и застройки территорий городов и других поселений. Красная линия призвана защищать право граждан на городскую среду, она является границей, отделяющей территорию квартала, микрорайона и других элементов планировочной структуры от улиц, дорог, проездов, площадей и утверждается в составе проекта планировки территории [1]. Задача которого, установить конкретные, точные границы планировочных элементов: улично-дорожной сети, районов, микрорайонов, кварталов, а результат – четкая, зафиксированная координатами улично-дорожная сеть и все необходимые территории общего пользования.

На начальном этапе исследований выявлялся опыт работ и требования к мониторингу загрязняющих веществ от магистралей, как источников загрязнения. Анализ состояния атмосферного воздуха по официальным информационным источникам, в которых представлены результаты многолетних наблюдений за состоянием атмосферного воздуха для городов Российской Федерации, свидетельствует, что наиболее негативное влияние на качество атмосферного воздуха оказывает автотранспорт. По федеральным требованиям в атмосферном воздухе необходимо контролировать три группы: основные – наблюдения за концентрациями данных веществ являются обязательными во всех городах; специфические – выбираются согласно специфике выбросов от источников загрязнения; прочие –

организовывать наблюдения за концентрациями данных веществ также необходимо. Согласно литературным данным [2] каждый автомобиль выбрасывает в атмосферу с отработавшими газами до 200 различных химических соединений, но только небольшая часть из них обнаруживается в атмосферном воздухе в концентрациях, представляющих угрозу для здоровья населения. Поэтому, на следующем этапе исследований, с целью последующей количественной оценки концентрации, был выбран (из приведенного и широко представленного в литературных источниках перечней загрязняющих веществ) комплекс основных веществ: взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид серы и оксиды азота. Данные вещества необходимы в дальнейшем и для выполнения оценки риска воздействия загрязнения атмосферы. Предельно допустимое содержание данных загрязняющих вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест устанавливают гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 [3], которые действуют на всей территории Российской Федерации.

В сложившейся практике, нормативы градостроительного проектирования существуют только в небольшом количестве регионов и муниципальных образований и в большинстве случаев они не отвечают современным требованиям [4]. Для города Тюмени ООО «Институтом территориального планирования «Град» разработан генеральный план города (27.09.2012 г.), устанавливающий границы населенного пункта, выполняющий функциональное зонирование территории, размещающий планируемые объекты местного значения. В рамках регулирования градостроительной деятельности в «Правилах землепользования и застройки города Тюмени» (27.09.2012 г.) предусмотрена зона улично-дорожной сети и разработан «Региональный норматив градостроительного проектирования Тюменской области» (30.09.2013 г.) для обеспечения устойчивого развития территорий Тюменской области, создания благоприятной среды жизни и деятельности граждан. Этот факт имеет большое значение для принятия наиболее правильных решений, обеспечивающих последовательное улучшение условий жизни на территории города.

Практика застройки урбанизированных территорий показывает, что на застроенных территориях выгодно размещать вновь проектируемые объекты за счет придомовых территорий. Данное обстоятельство приводит к приближению источников выбросов к объектам проживания или общественного использования, а это требует уточнения расстояния от дороги до фасадов зданий с учетом экологических факторов.

По городским автомагистралям для получения экспериментальной информации об уровне загрязнения атмосферного воздуха были проведены натурные исследования (маршрутные наблюдения в течение 2009-2010 гг.) на наиболее загруженных автотранспортом магистралях. При оценках выбросов вредных веществ учитывались интенсивность и состав транспортных потоков, скоростной режим. Представлены результаты исследований среднесуточных концентраций для одной из характерных реперных точек, выполненные на базе аналитической лаборатории ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Тюменской области» в рамках программы стажировки. Анализ проводился для выбранного комплекса загрязняющих веществ. Химическое воздействие на жилую застройку, прилегающую к транспортным потокам, оценено для характерной магистральной улицы общегородского значения регулируемого движения – ул. Холодильная на участке от ул. Республики до ул. 50 лет Октября (один из исследуемых участков). Максимальный транспортный поток в час пик составляет 2507 приведенных единиц/час. Планировочная характеристика участка: минимальное расстояние от границы проезжей части до фасада жилого здания по ул. Холодильная, д.62 составляет 23 м, от красной линии до фасада жилого здания – 11,5 м, от границы проезжей части до красной линии – 11,5 м. На обочине данной магистрали отмечены превышения санитарно-гигиенических нормативов химического воздействия на обустроенной территории: взвешенные вещества (от 1,5 до 3,13 ПДКс.с.); диоксид азота (от 1,25 до 1,75 ПДКс.с.). Кроме того, у фасада здания, близлежащем от реперной точки так же отмечены превышения диоксид азота (1,25 до 2 ПДКс.с.). Небольшое отличие в сторону увеличения исследуемых показателей характерно и для других маршрутных постов. В целом,

выполненные исследования и полученные результаты позволяют оценить существующий уровень химического воздействия автотранспорта на конкретных территориях. На основе имеющихся данных можно прогнозировать изменение состояния атмосферного воздуха при принятии планировочных решений.

Комфортные условия для передвижения по городу не должны достигаться в ущерб комфортным с санитарно-экологической точки зрения условиям проживания в городе, так как согласно Конституции Российской Федерации каждый гражданин имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением [5].

Следовательно, грамотная организация улично-дорожной сети города будет играть значительную роль в обеспечении комфортных условий проживания в городской среде. Она направлена не только на обеспечение безопасности дорожного движения, снижение загрузки магистралей по плотности автомобилей и повышение эффективности транспортного движения в городе, но и послужит мероприятием по снижению воздействия, оказываемого на прилегающие селитебные территории. Таким образом, оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах с учетом воздействия автотранспорта является чрезвычайно актуальным вопросом, поскольку человек ежесекундно нуждается в качественном атмосферном воздухе.

Список литературы

1. Статьи 42, 43 «Градостроительного кодекса Российской Федерации» от 29.12.2004 №190-ФЗ (ред. от 21.04.2011).
2. *Фельдман Ю.Г.* Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха. - М.: Медицина, 1975. - 160 с.
3. ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» (с изменениями на 3 ноября 2005 года). - Введ. 2003-06-25. - М.: Главный государственный санитарный врач РФ, Минздравмедпром России, 2003.
4. *Береговских А.Н.* Исследования. Концепция. – Омск: Омскбланкиздат, 2011. - С. 69-71.
5. *Германова Т.В., Керножитская А.Ф.* К вопросу загрязнения атмосферно воздуха города Тюмени автомобильным транспортом // Вектор науки ТГУ.№2 (24), 2013. С.25-28.
6. *Германова Т.В., Перцева И.И.* К вопросу обеспечения акустической безопасности населения городов // Вектор науки ТГУ.№2 (24), 2013. С.29-31.

05.12.07

[1]В.И. Классен, [2]Ю.Е.Седельников

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет,
Факультет «Восток», Чистополь, kvi@vector.ru
[2]Институт Радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра Радиоэлектронных и телекоммуникационных систем,
Казань, sedhome2013@yandex.ru

АНТЕННЫ Ka ДИАПАЗОНА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ЧАСТЬ 1. ПЕЧАТНЫЕ АНТЕННЫ

В работе в обзорной форме представлены результаты разработки новых типов антенн миллиметровых волн, основанных на использовании принципа возбуждения элементов решетки диэлектрическими волноводами и обладающих расширенными функциональными возможностями. Внимание акцентировано на создание на указанной основе плоских печатных антенн

Ключевые слова: *антенны Ka диапазона, диэлектрический волновод, антенна поверхностных волн, печатные антенны*.

Введение

Расширение задач в сфере массовых телекоммуникаций требует все более активного освоения Ka диапазона. В настоящее время основным типом антенн, используемым в составе абонентских терминалов являются зеркальные антенны. Развитие телекоммуникаций ставит на повестку дня задачу создания альтернативных вариантов антенн. К их числу относятся печатные антенны.

Под печатной **(***MICROSTRIP PATCH ANTENNA***)** обычно понимается антенна, представляющая собой нерегулярность с геометрическими размерами порядка половины длины волны в несимметричной полосковой линии [1]. К настоящему времени известно большое число их разновидностей [1-2]. Классическая печатная антенна является слабонаправленной с коэффициентом усиления не более нескольких единиц. Такие антенны весьма просты конструктивно и технологичны, особенно в условиях серийного производства.

Для повышения направленности печатные излучатели соединяют в антенные решетки с той или иной фидерной схемой распределительного устройства, выполняемого также на основе несимметричной полосковой линии [1-2]. Как правило, решетки из печатных излучателей используются для создания направленных антенн с коэффициентом усиления не более 15..20 дБ. Созданию остронаправленных печатных антенн препятствует ряда принципиальных и технических ограничений. Одним из наиболее существенных из них является фундаментальное ограничение достижимого усиления антенны потерями в фидерной системе. Указанные потери, вообще значительные для волноведущих структур с Т-волнами, имеют тенденцию к существенному росту по мере повышения частоты (примерно как $f^{1.5}$). По этим причинам обычно печатные антенны и решетки из печатных излучателей находят применение главным образом в аппаратуре дециметрового и, лишь отчасти, сантиметрового диапазонов волн.

При создании антенн миллиметрового диапазона волн альтернативой классическим печатным антенным решеткам могут явиться излучающие системы, выполненные на основе волноведущих структур поверхностных волн. Такие антенны могут обеспечить значительно большее усиление антенны и при этом сохранять такие важные достоинства печатных решеток на основе полосковых волноводов как простота и высокая технологичность

конструкции. В 80-е годы указанные антенны активно развивались в интересах авиационной и ракетной техники. В значительной мере результаты этих разработок остаются до настоящего времени малоизвестными специалистам в области телекоммуникаций. Цель настоящей работы состоит в ознакомлении их с указанными разработками.

Антенны на основе диэлектрических волноведущих структур

Антенны рассматриваемого класса образованы некоторой волноведущей структурой поверхностных волн с периодической системой нерегулярностей и представляют собой типичную антенну бегущей волны. Рис. 1 Регулярная волноведущая структура способна поддерживать распространение поверхностной волны гибридного типа без потерь на излучение. При наличии нерегулярностей, в силу искажения ими первоначального поля поверхностной волны, имеет место излучение в окружающее пространство. Для периодической системы нерегулярностей образованную ими излучающую систему можно рассматривать как эквидистантную антенную решетку с последовательным возбуждением ее элементов. Направление максимального излучения в первом приближении определяется хорошо известным соотношением:

$$\sin\theta_{max} = \frac{\lambda_0}{\lambda_в} - m\frac{\lambda_0}{d},$$

где λ_0 и $\lambda_в$ - значения длины волны в воздухе и волноводе соответственно, d – шаг системы нерегулярностей.

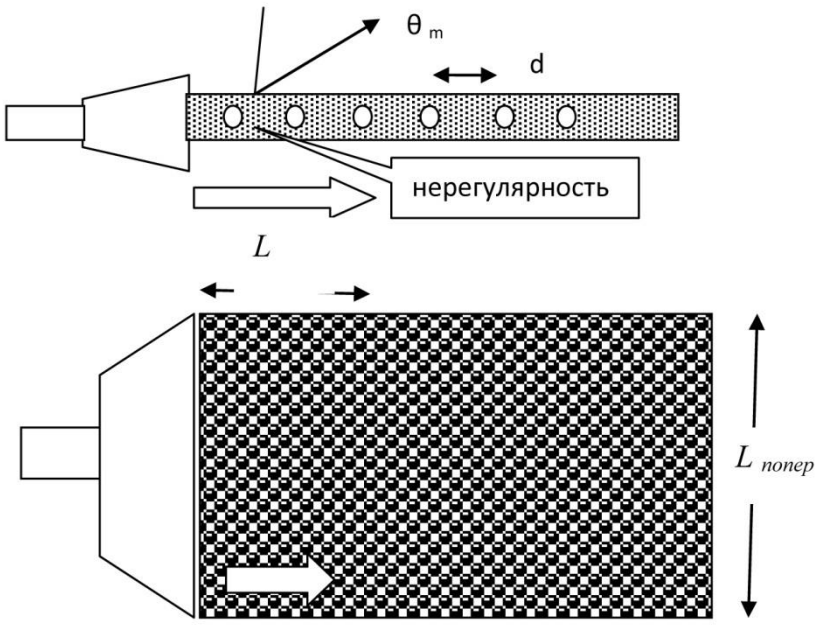


Рис.1- Антенна на основе диэлектрической волноведущей структуры

Направленность излучения в плоскости распространения поверхностной волны определяется факторами, общими для антенн с последовательным возбуждением элементов апертуры. Наиболее существенным здесь является то, что максимально достижимый КНД принципиально ограничен значением коэффициента затухания волны в волноведущей структуре. Вследствие этого оптимальное значение электрической длины излучающей структуры $L_{прод}$ обычно не превосходит нескольких десятков длин волн. Направленность антенны в плоскости, поперечной направлению распространения поверхностной волны зависит, главным образом, от электрических размеров апертуры $L_{попер}$ и ограничена, в основном, погрешностями возбуждения синфазного (или линейно-фазового) распределения апертуры.

Известен значительное число разновидностей волноводов поверхностных волн [3-4]. Для рассматриваемых приложений наиболее удобным представляется использование диэлектрических зеркальных волноводов, представляющих собой слой диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью ε = 2…4 и толщиной порядка четверти длины волны, установленный на плоской металлической плоскости. Нерегулярности, исходя из соображений технологичности, целесообразно выполнять в виде участков металлизации, располагаемых на внешней стороне диэлектрического листа. Таким образом, конструктивно антенна представляет собой лист двухстороннего фольгированного диэлектрика, например фторопласта, с «рисунком» излучателей-нерегулярностей на одной из его сторон, т.е. представлять собой разновидность печатной антенны. Разнообразие возможных вариантов выполнения указанных антенн определяется типом используемого диэлектрического зеркального волновода (ДЗВ): линейного, радиального, секторно-радиального и др., формой печатных нерегулярностей а также типов устройства возбуждения нерегулярного волновода (Рис.2- 3).

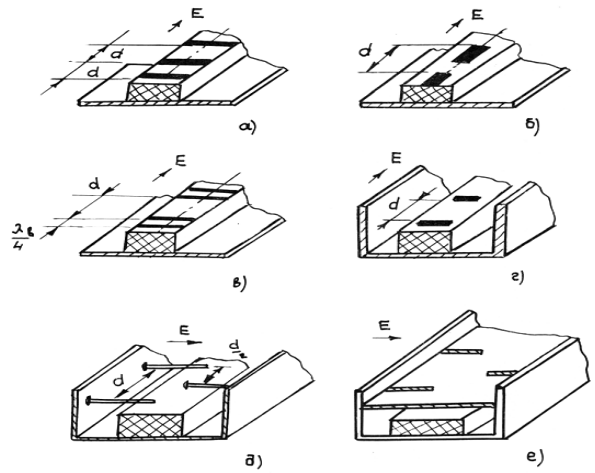


Рис. 2- Варианты выполнения нерегулярностей в диэлектрических волноведущих структурах: а)–в) – диэлектрческий зеркальный волновод с различного типа нерегулярностями, г)-е) желобковый диэлектрческий зеркальный волновод

Разнообразны также варианты выполнения антенного полотна и распределительного устройства, формирующих направленное излучение в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны в волноведущей структуре. Здесь могут использоваться рупорные делители с фазовым корректором (линза) или без него (Рис. 3Г - 3Д), а также устройства возбуждения поверхностной волны в радиальном или секторно-радиальном ДЗВ (Рис. 3А-3В). Каждый из перечисленных вариантов имеет свои достоинства и недостатки и выбор того или иного варианта определяется конкретными требованиями к антенне.

Конструкции антенн на основе диэлектрических волноведущих структур и основные электрические характеристики

В зависимости от конкретных требований к антенне ее конструктивная реализация может быть различной. При отсутствии необходимости электронного сканирования или формирования управляемой многолучевой ДН, наиболее простыми являются варианты антенны на основе плоскопараллельного, радиального или секторно-радиального ДЗВ. Варианты подобных конструкций показаны на Рис. 3А – 3В.

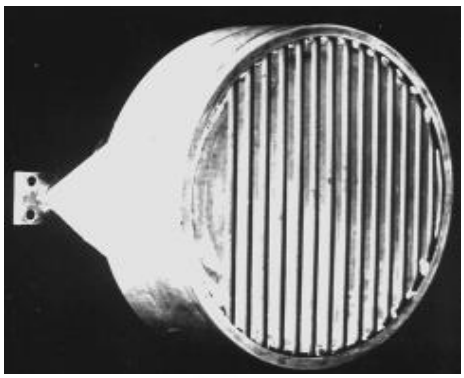
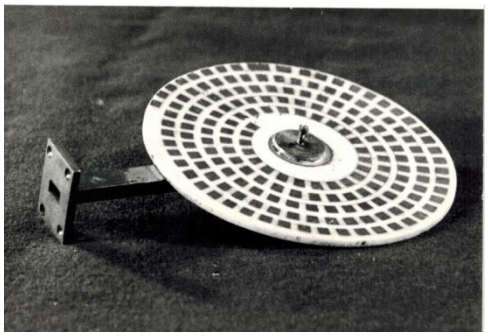
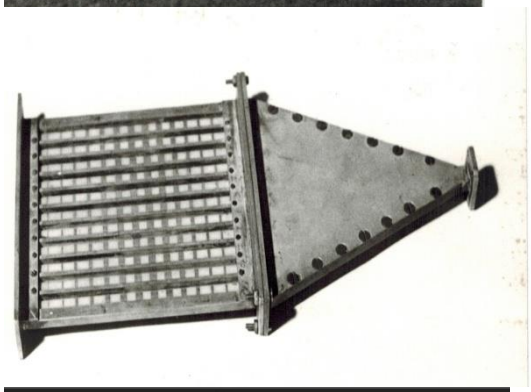


Рис. 3- Конструкции антенн
А) Антенна на плоскопараллельном ДЗВ. Формирование излучения в поперечной плоскости осуществляется линзой геодезического типа.

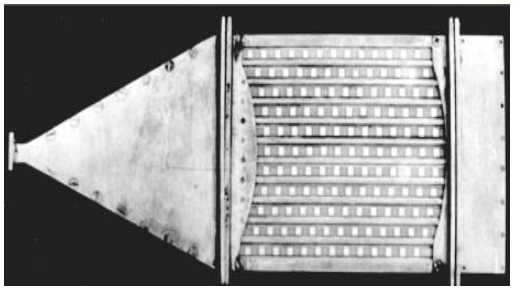
Б) Антенна на основе секторно радиального волновода. Возбуждение осуществляется малогабаритным рупором на периферии апертуры



В) Антенна вращающейся поляризации на основе радиального ДЗВ. Возбуждение осуществляется осесимметричным диско-штыревым элементом в центре апертуры.



Г) Решетка из желобковых ДЗВ. Возбуждение осуществляется Н секториальным рупором с фазовым корректором (диэлектрическая линза).



Д) Решетка из желобковых ДЗВ. Возбуждение осуществляется Н секториальным рупором.

К числу наиболее важных показателей антенн для рассматриваемых применений относятся коэффициент усиления антенны и отчасти ширина ДН. Перечисленные выше варианты антенн, выполненные в K_u диапазоне, при правильном проектировании, использовании современных радиоматериалов с низкими диэлектрическими потерями и

изготовлении с допусками не хуже ±0.05 …0.1 мм могут обеспечить значение ширины ДН до 3…5 градусов м КУ до 30 ….35 дБ.

При необходимости достижения более высоких значений КУ, антенны, согласно вариантам, показанным на Рис. 3 , могут быть объединены в 2 – 4 элементную антенную решетку, что потенциально позволяет поднять верхний предел реально достижимого КУ на 3 …6 дБ.

Антенны в вариантах 3Б – 3В являются принципиально поперечно излучаюшим и позволяют сформировать излучение с карандашной однолучевой ДН. Антенны в вариантах 3А, 3Г, 3Д могут использоваться для создания как поперечного, так и наклонного излучения в плоскости распространения поверхностной волны. При выполнении антенного полотна на основе раздельных диэлектрических зеркальных волноводов или, что лучше, желобковых ДЗВ (Рис. 3Г-3Д) появляется возможность создавать на их основе сканирующие или многолучевые ДН в плоскости перпендикулярной осям волноводов. В этих случаях в рупорный возбудитель должны вводиться проходные фазовращатели или использоваться многолучевые диаграммообразующие схемы квазиоптического типа [5]. Обсуждение путей построения таких антенн выходит за рамки данной работы.

Заключение

Рассмотренные варианты могут являться основой для создания на их основе антенн с характеристиками, приемлемыми для ряда телекоммуникационных приложений. При равных габаритных размерах апертур по значениям основных электрических показателей - коэффициента усиления и ширины ДН печатные антенны на основе волноведущих структур поверхностных волн, безусловно, уступают зеркальным антеннам. (Как и любые известные типы остронаправленных антенн). Однако использование их при создании абонентской телекоммуникационной аппаратуры Ка диапазона может иметь ряд достоинств. Во первых, это плоская конструкция с габаритами в толщину не превосходящими 10..20 мм, что может оказаться немаловажным для носимой аппаратуры. Во вторых, в отличие от любых вариантов зеркальных антенн, здесь может отсутствовать необходимость в высокоточном механическом изготовлении элементов, принципиально необходимом при производстве рефлекторов зеркальных антенн. Наконец, немаловажным фактором является то, что изготовление наиболее критичных к погрешностям элементов антенны может осуществляться на основе хорошо отработанных технологий производства печатных плат.

Список литературы

1. *Thomas A. Milligan* Modern Antenna design. Second Edition John Willey & SonS, INC., Publication Hoboken, New Jersey. 2005 by John Wiley & Sons -614 p

2. *Kin -Lu Wong* Compact and Broadband Microstrip Antennas John Wiley & Sons, Inc., New York. 2002 -324 p.

3. *Взятышев В.Ф.* Диэлектрические волноводы. М.: Сов. Радио, 1970 -216с

4. *Шестопалов В.П.* Физические основы миллиметровых и субмиллиметровых волн. В 2-х т. Киев: Наукова Думка, 1985 Т1- 214с, Т2- 254с

5. *Sedelnikov Yu.E., Lavrushev V.N.* Millimeter Band Low-hight Multibeam Antennas.20th ESTEC Antenna Workshop on Antenna Technology and Antenna Measurement. 18-20 June 199, ESTEC, Noordwijk, the Netherlands – p.87-91

05.12.07

[1]В.И. Классен, [2]Ю.Е.Седельников

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет,
Факультет «Восток», Чистополь, kvi@vector.ru
[2]Институт Радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра Радиоэлектронных и телекоммуникационных систем,
Казань, sedhome2013@yandex.ru

АНТЕННЫ Ku ДИАПАЗОНА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ. ЧАСТЬ 2 АНТЕННЫ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

В работе в обзорной форме представлены результаты разработки новых типов антенн миллиметровых волн, основанных на использовании принципа возбуждения элементов решетки диэлектрическими волноводами и обладающих расширенными функциональными возможностями. Внимание акцентировано на создание на указанной основе двухлучевых антенн и антенн с управяемой поляризацией.

Ключевые слова: *антенны Ku диапазона, диэлектрический волновод, антенна поверхностных волн, двухлучевые антенны, управляемая поляризация.*

Введение

Как отмечалось в [1], развитие телекоммуникаций ставит на повестку дня задачу создания антенн, альтернативных традиционно используемым в настоящее время зеркальным антеннам. К их числу относятся антенны, выполненные на основе диэлектрических волноводов различных типов. В [1] описан ряд вариантов конструкций таких антенн, позволяющих реализовать остронаправленные антенны линейной поляризации с однолучевой ДН карандашного типа. Принцип построения излучающей системы как решетки с последовательным возбуждением ее элементов диэлектрической волноведущей структурой позволяет создать ряд конструкций с расширенным функциональными возможностями. К х числу относятся, в частности, двухлучевые антенны, антенны с формированием пары ДН - суммарного и разностного типов, антенны с круговой поляризацией или, с произвольной, управляемой зеркальные линейной поляризацией.

Как и описанные в [1-4] указанные антенны активно развивались в прошлые годы, а этих разработок остаются до настоящего времени малоизвестными специалистам в области телекоммуникаций. Цель настоящей работы состоит в ознакомлении их с указанными разработками.

Двухлучевые антенны

Двухлучевые антенны могут быть созданы на основе симметричных излучателей в виде решеток излучателей, симметричных относительно оси антенны, например описанных и показанных в [1] на Рис. 4-5 при условии наличия второго входа с противоположной стороны апертуры.

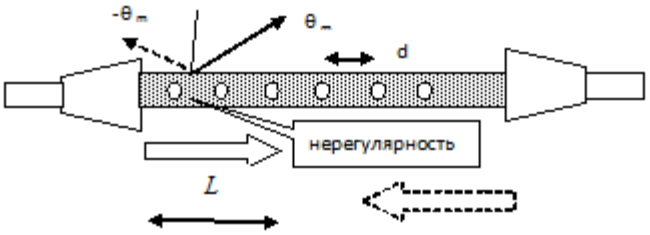


Рис. 1 Двухлучевая антенна на основе волноведущей структуры поверхностной волны

В этом случае возможно формирование двух симметричных лучей (Рис. 1), направление которых определяется как:

$$\sin\theta_{max} = \frac{\lambda_0}{\lambda_в} - m\frac{\lambda_0}{d}, \quad (1)$$

где λ_0 и $\lambda_в$ - значения длины волны в воздухе и волноводе соответственно, d – шаг системы нерегулярностей.

Такие антенны могут быть созданы различным образом. Во первых, путем добавления второго рупорного возбудителя со стороны, противоположной первому рупору. Антенна, выполненная на этой основе, показана на Рис. 5) и имеет в составе рупора фазовый корректор в виде диэлектрической или волноводной линзы.

Более простой второй путь – использование возбудителя в виде цилиндрического рупора (Рис. 3).

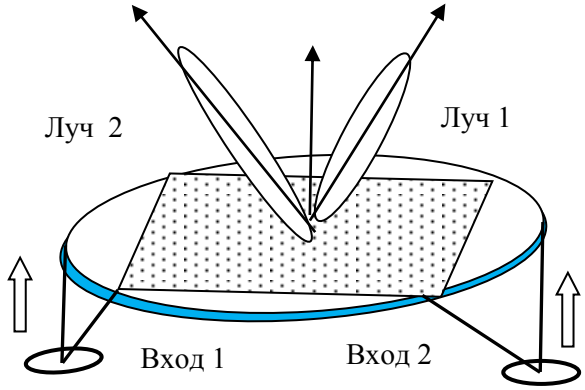
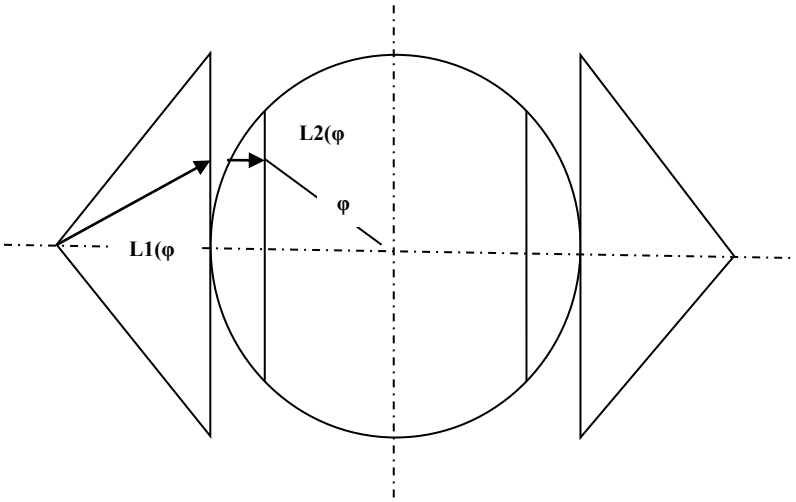


Рис. 2
Двухлучевая антенна с цилиндрическими рупорными возбудителями

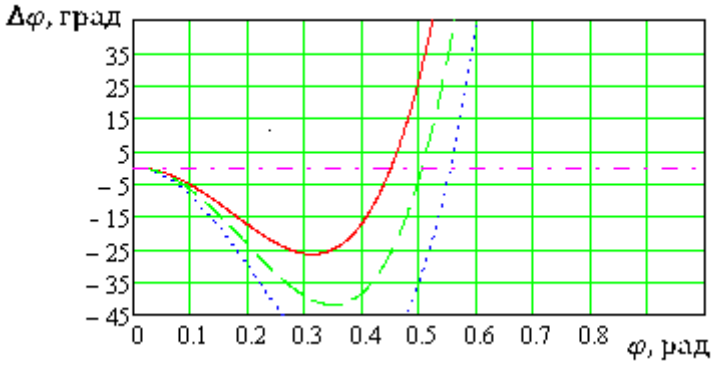
Особенность данного варианта состоит в том, что при выполнении определенных соотношений между радиусом цилиндра, относительной длиной раскрыва и длиной цилиндрического рупора можно обеспечить возбуждение поверхностной волны в направлении перпендикулярном ее распространению в апертуре близким к синфазному:

$$L_1(0) + R(1 - cos\varphi) \approx L_1(\varphi) + L_2(\varphi) \quad (2)$$

где R – радиус цилиндра, $\varphi \le \varphi_0$, φ_0 – угол, соответствующий границам рупора (Рис. 3-4)



А) Схематическое изображение двухлучевой антенны с рупорными возбудителями



Б) Фазовое распределение на «выходе» рупора. Длина рупора - 18λ, 17.5λ и 17 λ. Диаметр цилиндра - 40λ

Рис.3-Двухлучевая антенна

Антенны с управляемой поляризацией

Использую принцип построения антенны в виде решетки излучающих элементов, возбуждаемых поверхностной волной в диэлектрическом волноводе, можно также построить антенну с управляемой поляризацией в режиме излучения или приема. Один из наиболее простых вариантов показан схематически на Рис. 4

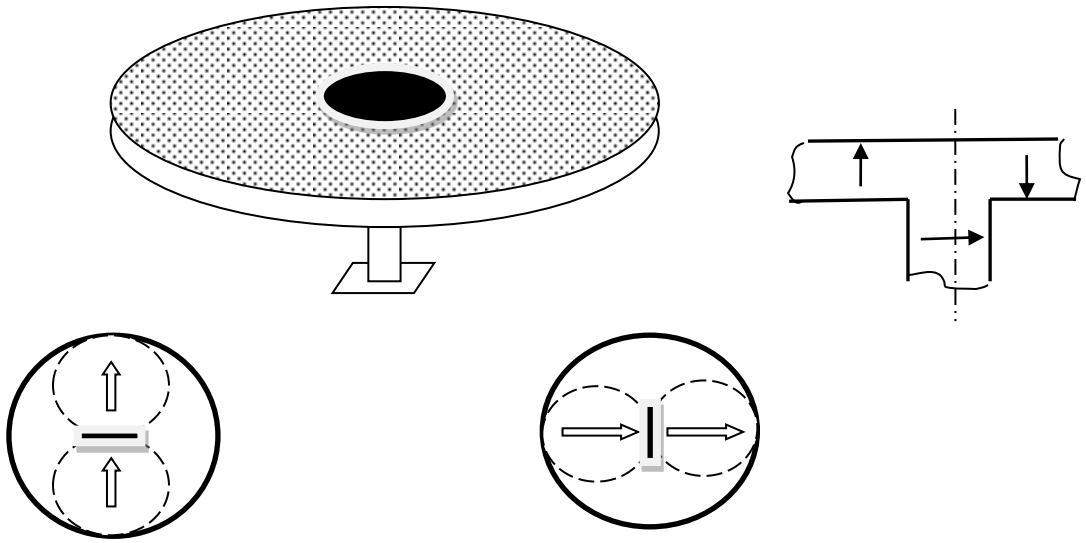


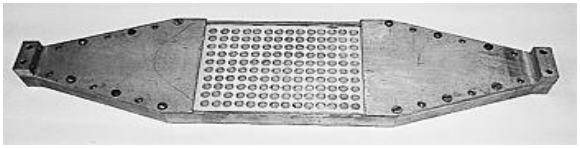
Рис. 4 Антенна с управляемой поляризацией

Возбуждение антенны осуществляется щелевым излучателем в торце волновода круглого сечения с линейно поляризованной волной типа H_{11}. Направление преимущественного распространения поверхностной волны и, соответственно, плоскость поляризации основного

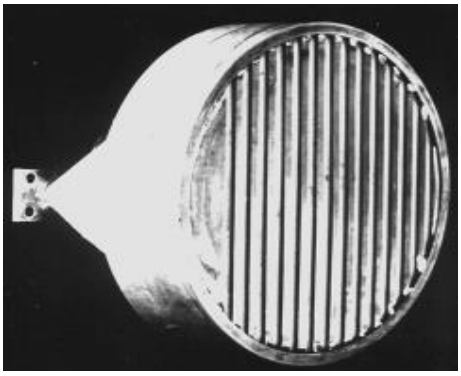
излучения определяются угловой ориентацией щели. (Рис. 5). Если используется крестообразная щель, и соответственно обеспечивается ее возбуждение парой волн типа H_{11}, находящихся в пространственной и временной квадратуре, антенна излучает волну круговой поляризации. Управление поляризацией, таким образом, сводится к управлению плоскостью поляризации волны в возбуждающем круглом волноводе, что не представляет серьезных трудностей.

Конструктивное исполнение антенн

Примеры реализации антенн, описанных выше, приведены на Рис. 6-8.



А) Плоская двухлучевая антенна с рупорно–линзовыми возбудителями поверхностной волны



Б) Двухлучевая антенна на плоскопараллельном ДЗВ.
Формирование излучения в поперечной плоскости осуществляется линзой геодезического типа (Рис. 3).

В) Антенна с управляемой поляризацией

Рис. 5.Конструкции антенн

Заключение

Рассмотренные варианты могут являться основой для создания на их основе ряда антенн с управляемыми характеристиками направленности, приемлемыми для ряда перспективных телекоммуникационных приложений. Основными их достоинствами являются плоская конструкция, а также простота изготовления.

Список литературы

1. *Классен В.И., Седельников Ю.Е.* Антенны Ка диапазона для перспективных средств телекоммуникаций. Часть 1. Печатные антенны. Научно-технический Вестник Поволжья, №6, 2013 (настоящий сборник)
2. *Взятышев В.Ф.* Диэлектрические волноводы. М.: Сов. Радио, 1970 -216с
3. *Шестопалов В.П.* Физические основы миллиметровых и субмиллиметровых волн. В 2-х т. Киев: Наукова Думка, 1985 Т1- 214с, Т2- 254с
4. *Sedelnikov Yu.E., Lavrushev V.N.* Millimeter Band Low-hight Multibeam Antennas.20th ESTEC Antenna Workshop on Antenna Technology and Antenna Measurement. 18-20 June 199, ESTEC, Noordwijk, the Netherlands – p.87-91

05.23.03

А.К. Клочко к.т.н., А.Р. Клочко, Г.Р. Арутюнян

Московский Государственный Строительный Университет,
кафедра “Теплотехника и теплогазоснабжение”, Москва, klo4ko_aleksey@mail.ru

О ВАЖНОСТИ НЕДОПУЩЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Рассматриваются вопросы климатического комфорта пребывания человека при охлаждении помещений, отапливаемых от систем централизованного теплоснабжения в осенний период года.

Ключевые слова: *централизованная система теплоснабжения, система отопления, отопительный период, показатель комфортности, условия климатического комфорта, охлаждение помещений.*

Российская Федерация занимает обширную территорию. При этом, как правило, практически на всей территории наблюдаются частые колебания среднесуточной температуры со значительной амплитудой, что провоцирует либо перегрев, либо охлаждение жилых и общественных помещений. Причем, если в случае перегрева жилого помещения существует техническая возможность снижения температуры внутреннего воздуха путем осуществления проветривания (хотя это и приводит к нерациональному использованию энергоресурсов), то осенний период, когда отопительный сезон еще не начался, является наиболее дискомфортным для человека. Недостающее количество тепловой энергии возможно получить только лишь из электрической энергии. Необходимо отметить, что такое решение также не является энергоэффективным, если учитывать электрический КПД ТЭЦ.

Существующие на сегодняшний день системы теплоснабжения условно можно классифицировать на 2 группы [1](рис.1):

1. централизованные (районные котельные, ТЭЦ);
2. децентрализованные (автономные):

- квартальная котельная;
- крышные котельные;
- поквартирная система теплоснабжения.

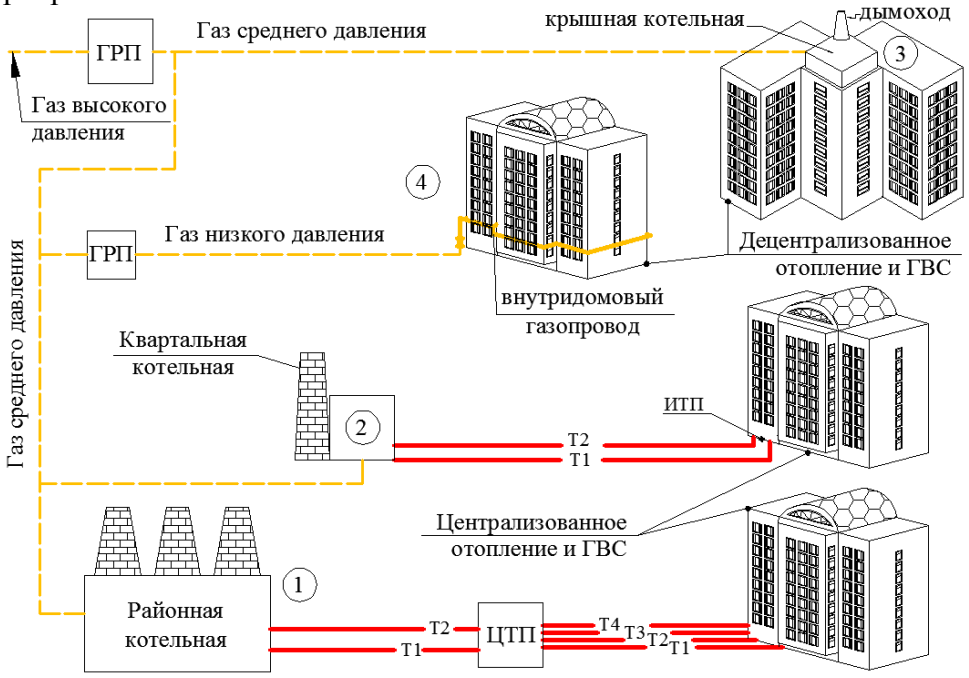


Рис.1. Схемы теплоснабжения.

Комфорт от использования системы теплоснабжения зависит от:

- отклонения параметров воздуха рабочей зоны помещения от расчетных величин;
- перебоев в обеспечении горячим водоснабжением.

В первом приближении он может быть определен:

$$K_{сист} = K_{от} \cdot K_{ГВС} = \left(1 - \frac{Q_n}{Q_{от}} \frac{T_n}{T_{от}}\right) \cdot \left(1 - \frac{A_{откл}}{A_{общ}} \cdot \frac{T_{откл}}{365}\right) \quad (1)$$

Где, $A_{откл}$- число отключаемых абонентов [чел.]; $A_{общ}$- общее число абонентов в рассматриваемом районе[чел]; T_1- время ограничения предоставления горячего водоснабжения[сут.]; 365 – число дней в году[сут.]; Q_n - величина перегрева помещений в год[кДж]; $Q_{от}$- необходимое количество теплоты на отопление в год [кДж]; T_2- время, в течение которого происходит перегрев помещений [час]; $T_{от}$- продолжительность отопительного периода [час].

Значения $A_{откл}$, $A_{общ}$–определяются для каждого конкретного случая индивидуально, исходя из схемы подключения абонентов, T_1 – нормативно задаваемый интервал времени.

Комфорт пребывания в помещении учитывается вторым множителем $K_{от}$, зависящим от величины перегрева помещений в год, необходимого количества теплоты на отопление в год, и времени, в течение которого происходит перегрев помещений.

Значения параметров Q_n, $Q_{от}$, T_1 – могут быть определены из годового графика повторяемости расходов тепла жилыми зданиями, принцип построения которого приведен в [2].

Однако формула (1) не способна учесть дискомфорт, вызванный охлаждением помещений ниже комфортной температуры, это особо касается осеннего периода года. В РФ основанием для включения отопления согласно «Правилам предоставления коммунальных услуг гражданам» от 23 мая 2006 года и от 6 мая 2011 года п.6 раздел 11, является условие[4]: «Если собственники помещений в многоквартирном доме или собственники жилых домов не установили условия определения даты начала и (или) окончания отопительного периода или дату начала и (или) окончания отопительного периода, а также если тепловая энергия для нужд отопления помещений подается по сети централизованного теплоснабжения, то исполнитель начинает и заканчивает отопительный период в сроки, установленные уполномоченным органом. При этом начало отопительного периода устанавливается при среднесуточной температуре наружного воздуха ниже +8°С, а конец отопительного периода - при среднесуточной температуре наружного воздуха выше +8°С в течение 5 суток подряд. Отопительный период должен начинаться или заканчиваться со дня, следующего за последним днем указанного периода».

Одновременно с этим требования населения к тепловому комфорту возрастают. Примером может служить высказывание В.В.Жириновского[5]: «Я почему первый поднял руку, чтобы выступить? Потому что замерз. И большинству холодно, но они боятся. Если на улице плюс 20, зачем отопление включаем? Кого обогреваем? Включать отопление нужно, когда холодно, а не когда инструкция». При этом Президент РФ Владимир Путин на заседании Госсовета 4 октября высказал мнение[6]: "Конечно, без всяких сомнений, нужно включать отопление не тогда, когда инструкция предписывает, а когда холодно. Безусловно, это правильное замечание. В этой связи хочу обратить внимание и правительства РФ, и правительств региональных органов власти на то, что у нас очень много норм, правил и инструкций прежних времен, которые мешают работать, которые абсолютно не соответствуют требованиям сегодняшнего дня".

Конечно, стоит отметить, что автономные системы теплоснабжения намного более комфортны для потребителя, а система поквартирного теплоснабжения и вовсе лишена вышеописанного недостатка.

Температура ниже +15˚С у большинства людей, находящихся в состоянии покоя, уже вызывает ощущение дискомфорта. Так, например, если рассмотреть среднесуточные температуры наружного воздуха в Москве за сентябрь 2013 года (рис. 2) до включения

отопления (26.09.2013), можно увидеть, что параметры теплового комфорта находились ниже минимально допустимых значений[3].

Для повышения теплового комфорта длительного пребывания в помещении, отапливаемом централизованно, во время осеннего периода года, необходимо предусматривать дополнительные технические мероприятия, поддерживающие температуру внутреннего воздуха на минимально допустимом по требованиям комфортности уровне.

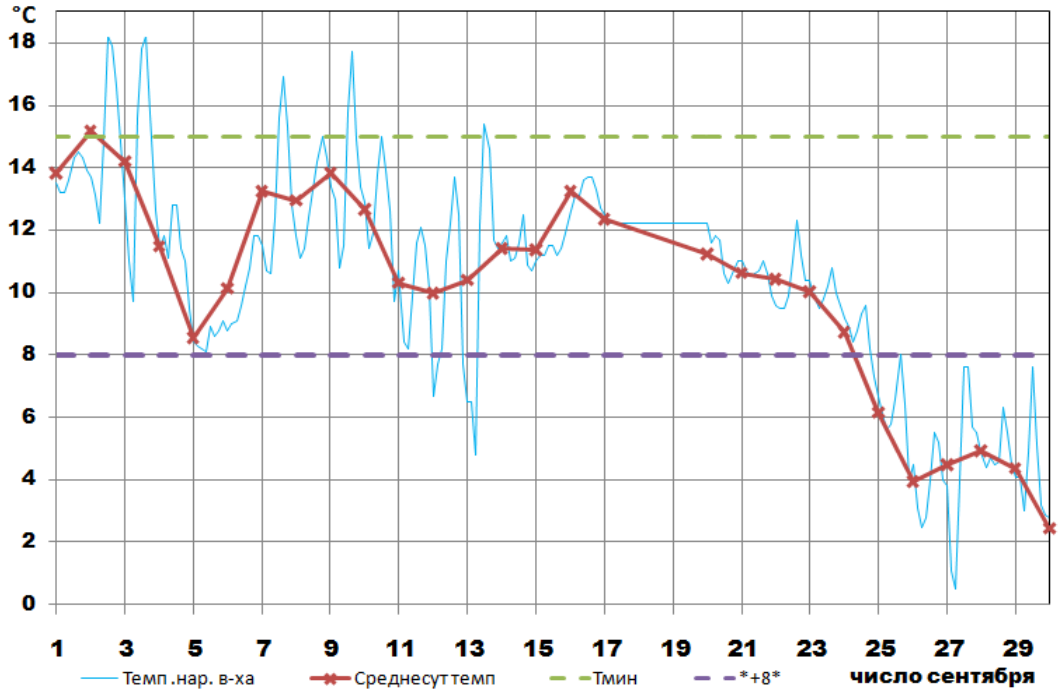


Рис.2. Температура наружного воздуха за сентябрь 2013г. в г. Москве.

Список литературы

1. *Жила В.А., Маркевич Ю.Г., Клочко А.К.* «Анализ систем теплоснабжения с различной степенью централизации» - ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, 1 номер 2008 год, с. 42-44.

2. *А.Ф. Строй, В.Л. Скальский*, «Расчет и проектирование тепловых сетей» - Будівельник, 1981г., с. 31.

3. Архив погоды в Москве с 1999 года (метеостанция Москва, ВВЦ). [Сетевой ресурс]. – URL: http://moskvameteo.ru/archive.php (дата обращения 29.09.2013).

4. [Сетевой ресурс]. – URL: http://www.rg.ru/2006/05/31/kommunalka.html (дата обращения 24.11.2013)

5. [Сетевой ресурс]. – URL: http://ria.ru/society/20131004/967817233.html#13852263468463&message=resize&relto=register&action=addClass&value=registration (дата обращения 24.11.2013)

6. РИА Новости [Сетевой ресурс]. – URL: http://ria.ru/society/20131004/967817233.html#13852266232864&message=resize&relto=login&action=removeClass&value=registration#ixzz2lUQ7CsBq (дата обращения 24.11.2013)

05.23.03

А.К. Клочко к.т.н., А.Р. Клочко, Г.Р. Арутюнян

Московский Государственный Строительный Университет,
кафедра “Теплотехника и теплогазоснабжение”, Москва, klo4ko_aleksey@mail.ru

КРИТЕРИЙ ВЫБОРА СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПАРЫ АБОНЕНТОВ К ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ МАГИСТРАЛИ

В данной статье получен критерий выбора схемы подключения пары абонентов расположенных по одну сторону от газораспределительной магистрали, позволяющий получать наиболее выгодное решение с точки зрения суммарной протяженности сети.

Ключевые слова: *система газораспределения, магистральный газопровод, конфигурация газораспределительной сети, точки Штейнера.*

Задача оптимизации газораспределительной сети предполагает в качестве обязательного условия наличие самой схемы сети, которую в соответствии с выбранными критериями, предстоит улучшать. Поэтому важно с самого начала определиться со схемой газоснабжения подключаемых к газораспределительной сети абонентов.

Рассмотрим довольно часто встречающуюся в практике проектирования задачу построения газораспределительной сети, обеспечивающей газом посёлки А и Б, расположенные по одну сторону от питающего газопровода высокого (среднего) давления (рис.1).

Очевидно, что подключение посёлков к питающей газовой магистрали можно выполнить одним из двух способов:

1. Каждый посёлок подключается автономно, с трассировкой газопровода по кратчайшему пути к магистрали (на рис. 1 схема 1а-2 и 1б-3).
2. Осуществляется общее подключение посёлков к магистральному газопроводу межпоселковым газопроводом, а газопроводы-вводы в посёлки подключаются уже к этому межпоселковому газопроводу (на рис. 1. схема 1-4-2-3).

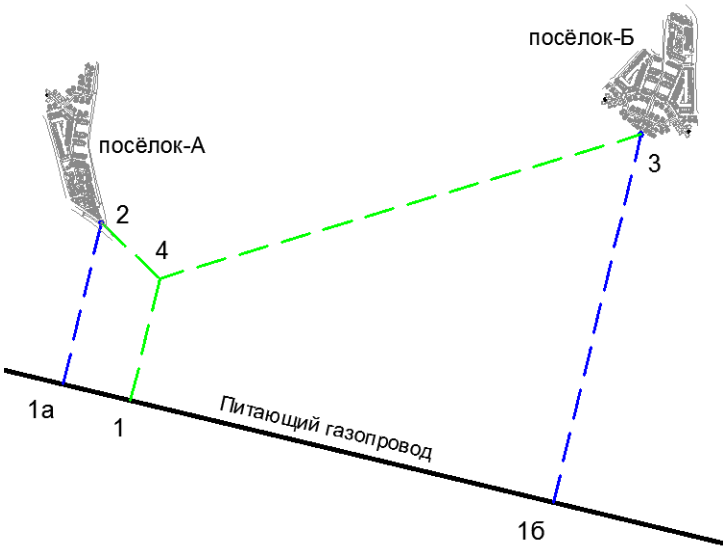


Рис. 1. Выбор схемы подключения посёлков.

Следует отметить, что в первом случае надежность газоснабжения посёлков будет выше, чем во втором. Если требования надежности обеспечиваются в обоих вариантах подключения[3], то критерием выбора схемы газоснабжения служит минимальная протяженность газопроводов. Построение газораспределительной сети, соответствующей

этому требованию, осуществляется введением дополнительных вершин, называющихся точками Штейнера [1].

Чтобы получить условие выбора способа присоединения посёлков к питающей газовой магистрали, воспользуемся следующим свойством точки Штейнера: ребра, соединяющие вершины графа с точкой Штейнера, образуют угол 120°.

На рис. 2. приведен результат построения газораспределительной сети с использованием точки Штейнера (т.4). Алгоритм построения конфигурации газораспределительной сети с использованием точки Штейнера рассмотрен в работе[2].

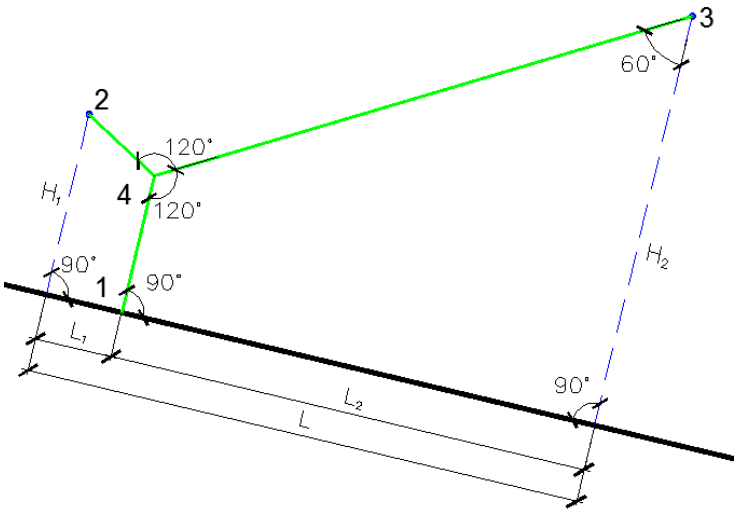


Рис. 2. Определение условия выбора схемы подключения.

Длины отрезков |4-2|, |4-3| и |4-1| при выбранном масштабе в сумме представляют общую длину газопроводов при втором варианте подключения посёлков. Определим её и сопоставим с суммарной длиной газопроводов при автономном способе подключения посёлков к питающему газопроводу:

$$|4-2| = \frac{L_1}{\sin 60} = \frac{2}{\sqrt{3}} L_1,$$

$$|4-3| = \frac{L_2}{\sin 60} = \frac{2}{\sqrt{3}} L_2,$$

$$H_1 = |4-1| + \frac{L_1}{\sqrt{3}}; \qquad H_2 = |4-1| + \frac{L_2}{\sqrt{3}}. \tag{1}$$

Из совместного решения уравнений (1) следует, что:

$$|4-1| = \frac{H_1 + H_2 - \frac{L}{\sqrt{3}}}{2}$$

После сложения длин отрезков запишем условие выбора схемы подключения:

$$\frac{2}{\sqrt{3}} L_1 + \frac{2}{\sqrt{3}} L_2 + \frac{H_1 + H_2 - \frac{L}{\sqrt{3}}}{2} < H_1 + H_2.$$

Приведя подобные слагаемые и разделив переменные, получим неравенство вида:

$$L < \frac{H_1 + H_2}{\sqrt{3}}. \tag{2}$$

Представленное неравенство (2) является условием для выбора схемы подключения двух абонентов, расположенных по одну сторону от питающей магистрали, по критерию минимальной суммарной протяженности сети. При соблюдении неравенства принимается

решение о подключении сетей газоснабжения посёлков к питающей магистрали общим газопроводом. В противном случае рекомендуется автономное подключение поселков к магистральному газопроводу. Если угол между направлениями 2-3 и 2-1а равен 120˚ или больше, то трасса газопровода пройдет через точки 1а-2-3.

Список литературы

1. *Степанова Л.* Задача Штейнера/ реферат СПБГУ ИТМО/ СПб.: 2010. – 31с.
2. *Клочко А.К.* Разработка концепции рационального проектирования газораспределительных сетей методом итерационного поиска. Дис. на соиск. уч. ст. канд. тех. наук, МГСУ, 2012 – 173 с.
3. СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы. – СПб., 2004. - 80 с.

05.02.02

Г.Е. Кокиева

Бурятский филиал ФГОБУ ВПО Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики,
г. Улан-Удэ, kokievagalia@mail.ru

СОСТОЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье описывается основа биотехнологического процесса, а именно технология и способы измерения рабочих поверхностей при дефектации аппаратов для культивирования микроорганизмов. Рассматривается ферментатор, предназначенный для культивирования микроорганизмов. Повышенный износ рабочих элементов которых, является одной из главных причин резкого снижения производительности.

Ключевые слова и фразы: *Ферментатор, культивирование микроорганизмов, износ рабочих элементов ферментаторов, дефекты*.

Современное инженерное машиностроение характеризуется разновидностью технологических процессов, объединенных в сложный производственный комплекс. Технологическая цепочка получения рабочих деталей ферментеров включает в себя процессы обработки материалов на разных видах конструкции оборудования, при выборе рационального конструктивного решения учитывается ряд условий: получение деталей высокого качества, минимум затрат на основные материалы, максимальное использование возможностей оборудования с его оптимальной загрузкой и т.д. Особенно остро стоит вопрос получения деталей с заданным комплексом эксплуатационных свойств, при этом одну из главных ролей играют состояние деформации деталей сложных технических систем, управление формоизменения которых возможно различными способами.

Аппараты для культивирования микроорганизмов составляют основу биотехнологического производства. Масса аппаратов, используемых, например, в микробной биотехнологии, различна по конструктивной особенности, и требования к ним здесь определяются большей частью по экономическим соображениям. Применительно к ферментаторам различают следующие типы их: лабораторные емкостью 0,5—100 л, пилотные емкостью 100л—10 м3, промышленные емкостью 10—100 м3 и более.

При масштабировании добиваются соответствия важнейших характеристик процесса, а не сохранения принципа конструкции.

Применяемое в биотехнологии оборудование должно вносить определенную долю эстетичности в интерьер цеха. В ходе его эксплуатации и вне ее оборудование должно быть легко доступным, содержащимся и функционирующим в определенных рамках требований гигиены и санитарии.

В случае замены каких-либо частей или деталей в аппарате, смазки и чистки узлов при текущем ремонте, и т. д., загрязнения не должны попадать внутрь биореакторов, в материальные поточные коммуникационные линии, в конечные продукты [1].

Нехватка или отсутствие технических средств приводит к остановке процесса расчета в конструкторских расчетах. Контроль за техническим состоянием осуществляется непосредственно датчиками и аппаратурой, установленными на двигателе и силовых элементах аппарата.

Каждый параметр имеет эталонное значение, которое характеризует бездефектное состояние объекта. Для оценки технического состояния необходимо определить фактические величины контролируемых параметров. Разность между фактическим и эталонным значениями диагностических параметров представляет собой диагностический симптом.

Формула для определения диагностического симптома:

$$Ф\ эт\ D = q - q\ .$$

Таким образом, оценка технического состояния объекта определяется отклонением фактических значений его параметров от их эталонных значений. Следовательно, любая система технической диагностики работает по принципу отклонений (принцип Солсбери).

Кроме оценки состояния оборудования необходимо прогнозировать его работоспособность [1]. Для этого анализируются тренды – зависимость диагностического симптома от времени.

Термомеханика сложных механических систем описывается системами дифференциальных (интегродифференциальных) уравнений с частными производными, часто с нечетко известными граничными и начальными условиями. Построение адекватной математической модели реального авиационного двигателя является практически нереальной задачей.

Метод последовательной детализации позволяет структурировать систему на принципе иерархизации уровней разного масштаба. Будем исходить из того, что обычно процесс выхода из строя какого-либо важного компонента двигателя имеет достаточно длительный инкубационный период, в течении которого отсутствуют макроскопические проявления процессов изменения физико-механических параметров деталей двигателя, их геометрических и инерционных характеристик.

Принципы безопасности и надежности с учетом критериев механики разрушения лежат в основе современных методов проектирования, особенно в атомной энергетике, авиационной и авиационно-космической криогенной технике. Эти принципы основаны на допущении того, что в детали или сварном элементе конструкции могут присутствовать начальные технологические дефекты сварки и трещины (либо трещины могут возникнуть на разных стадиях эксплуатации конструкции), и что эти дефекты могут инициировать разрушение конструкции в процессе работы, но недостаточно широко учитывают влияние анизотропии свойств, кинетики полей остаточных напряжений на напряженно-деформированное состояние физико-механически неоднородных аустенитных сталей при различных видах деформирования.

Исходя из различных критериев оценки и подходов к деформированному состоянию поверхностей деталей сложных технических систем и получению необходимых расчетных уравнений, позволят определить количественную связь внешних нагрузок с уровнем остаточных исходных напряжений в неоднородных сварных соединениях, а также рассчитать результирующие поля деформаций в сварных соединениях.

Учитывая высокую стоимость, уникальность целого ряда машин и конструкций, а также результаты выполненных научных исследований можно перейти на новый этап проектирования и эксплуатации, допускающий безопасную работу конструкций с учетом физико-механической неоднородности их сварных соединений и кинетики механизма остаточных напряжений. Таким образом, создаются возможности значительного увеличения (до нескольких раз) ресурса конструкций и оборудования.

В связи с отсутствием точных аналитических решений для определения прочности сварных соединений элементов ограниченных размеров с учетом пространственной физико-механической неоднородности и кинетики исходных остаточных деформаций сварки, тем более решений нелинейных краевых задач для таких тел, преобладающими методами исследования являются экспериментальные и в меньшей мере численные решения и приближенные аналитические решения [6,7].

На данном этапе проблема усугубляется тем, что есть детали оборудования изношенное до предела, конечно же это устраняется своевременно и заблаговременно, но, тем не менее данная проблема остается актуальной. Закупка новой дорогостоящей детали бывает для его замены непосильно для большинства организации. Проанализировав результаты многочисленных публикаций затрагивающих вопросы износостойкости [5,6,7] показали необходимость разработки подходов, которые обеспечили бы наиболее полный учет всех взаимосвязанных факторов: рабочую среду, материала детали, внешних условий

изнашивания, возможность автоматизации восстановления поверхностей. Разработка программного обеспечения, которая обеспечит полную диагностику по выявлению места износа, которое подлежит восстановлению.

Проработка предлагаемого подхода к изучению износостойкости возможна при комплексном системном подходе, которое включает изучение общей взаимосвязи: материал - условия изнашивания - изнашивающая среда. Построение модели изнашивания оценка каждого из явлений, предшествующих и сопровождающих разрушение поверхностного слоя металла, обусловливает более глубокое раскрытие природы сопротивления сплавов изнашиванию, позволит повысить эффективность упрочнения материалов для быстроизнашиваемых деталей, даст возможность проведения диагностики и более полную реализацию защитных свойств металлов и управлять их износостойкостью в заданных условиях эксплуатации.

Уровень нынешних знаний и умений в области техники и оборудования в пищевой промышленности и сельском хозяйстве не позволяет комплексно решать вопросы обеспечения долговечности и повышения их эксплуатационной производительности. В связи с этим появилась настоятельная необходимость разработки концептуальных подходов, который обеспечивает комплексный учет всех взаимосвязанных факторов интенсивного изнашивания, диагностики и восстановления быстроизнашивающихся рабочих органов.

Таким образом, разработка научно-технологических решений, направленных на обеспечение долговечности рабочих органов за счет прогнозирования их ресурса по износостойкости и оптимизации технологических процессов восстановления быстроизнашивающихся деталей, позволит повысить эффективность применения технологического оборудования в пищевой промышленности [1,2,3,4].

Список литературы

1. *Батищев А.Н.* Методика оптимизации способов восстановления деталей // С.-174-178.
2. *Батищев А.Н.* Ресурсосберегающая технология восстановления деталей гальваническими покрытиями: дисс…д-ра техн. Наук в виде научного доклада.-М.: МИИСП, 1992.-53С.
3. *Богданов В.С., Фролин А.Г.* Применение метода ранговой корреляции для выбора контролируемых параметров сложных объектов // Автоматический контроль и методы измерений: Сборник. -Новосибирск, 1971.-Т.1.С. 79-82.
4. *Никифоровский, В.А.* Вероятностный мир / В.А. Никифоровский. – М. : Наука, 1992. – 174 с.
5. *Махутов Н.А., Макаренко Л.В., Макаренко И.В.* Влияние остаточных напряжений и анизотропии свойств сварного шва на кинетику развития малоцикловых трещин. – В кн. Всесоюзная научно-техническая конференция. «Остаточные напряжения - резерв прочности в машиностроении», (Ростов-на-Дону, 1991), Тез. докл., с.52-53.
6. *Н.А. Махутов, Л.В. Макаренко, И.В. Макаренко.* Исследование низкотемпературной кинетики поверхностных полуэллиптических разноориентированных малоцикловых трещин с учетом эффекта упрочнения в поле механической и структурной неоднородности. – В кн. Всесоюзная научно-техническая конференция. «Повышение надежности и долговечности машин и сооружений», (Кишинев, 1991), Тез. докл., с.32-33.
7. *Н.А. Махутов, И.В. Макаренко, Л.В. Макаренко.* Кинетика полей остаточных напряжений в неоднородных аустенитных сталях при упругопластическом деформировании. / Заводская лаборатория. 1999. №4, том 65. С. 40 – 44.

05.13.17

Е.В. Котельников

Вятский государственный гуманитарный университет,
кафедра прикладной математики и информатики,
Киров, kotelnikov.ev@gmail.com

СТРУКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДСМ-СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ

В статье предложена структура интеллектуальной системы анализа тональности текстов на основе ДСМ-метода автоматического порождения гипотез. Структура включает набор блоков, реализующих как традиционные для ДСМ-метода процедуры – индукцию, аналогию и абдукцию, так и процедуры, специфические для обработки текстов – морфологический анализ и кластеризацию. Предложенная структура может быть адаптирована для решения других задач текстовой классификации.

Ключевые слова: *ДСМ-метод, интеллектуальные системы, анализ тональности.*

Интеллектуальные системы в современном мире играют весьма значимую роль. Практически во всех сферах человеческой деятельности используются разнообразные по мощности и степени разумности интеллектуальные системы, например:

– система *Watson* компании IBM, которая понимает вопросы, сформулированные на естественном языке, и выдает ответы из базы данных [1];

– проект *Cyc*, в рамках которого разрабатывается универсальная база знаний, дополненная механизмом логического вывода [2];

– *экспертные системы*, которые применяются в самых разных областях: от диагностики и лечения депрессии (система *BLUE BOX*) до проектирования и тестирования цифровых схем (система *PALLADIO*) [3].

Определение интеллектуальной системы зависит от понятия «искусственный интеллект». Существует множество вариантов определения этого понятия. В работе С. Рассела и П. Норвига приводится классификация взглядов на искусственный интеллект [4, с. 35]. В настоящей статье используется определение из работы Ю.М. Арского и В.К. Финна [5], в котором выделяются следующие ключевые характеристики искусственного интеллекта (и, следовательно, интеллектуальной системы): 1) анализ данных с использованием баз фактов (БФ) и баз знаний (БЗ); 2) автоматическое порождение гипотез на основе БФ; 3) объяснение фактов из БФ при помощи порожденных гипотез; 4) дедуктивный вывод на основе БФ и БЗ. В соответствии с классификацией С. Рассела и П. Норвига такое понимание попадает в категорию «Системы, которые думают рационально» (Thinking Rationally).

Примером интеллектуальной системы, построенной в соответствии с приведенным определением, является система типа ДСМ (ДСМ-система), основанная на одноименном методе. Метод назван в честь английского философа и логика Д.С. Милля (1806–1873). ДСМ-метод автоматического порождения гипотез (ДСМ АПГ) был предложен в конце 70-х – начале 80-х гг. В.К. Финном и с тех пор активно развивается [6]. Интеллектуальные системы типа ДСМ нашли применение во многих областях, в том числе в фармакологии, медицинской диагностике, социологии, истории, криминалистике, робототехнике [6].

ДСМ АПГ представляет собой класс правдоподобных рассуждений, позволяющих извлекать новые закономерности из массива данных. Входной информацией для метода является множество объектов (в задаче анализа тональности это текстовый корпус). Каждый объект включает множество признаков, характеризующих объект, и множество свойств, интересующих исследователя. В задаче анализа тональности признаками являются слова, входящие в тексты (как правило, в нормальной форме), а множество свойств представлено

единственным бинарным свойством, обозначающим тональность текста – позитивную или негативную. Множество объектов в задаче анализа тональности состоит из трех подмножеств: подмножества позитивных текстов, подмножества негативных текстов и подмножества текстов, тональность которых требуется определить. Объединение первых двух подмножеств называется обучающим множеством, третье подмножество образует тестовое множество объектов.

ДСМ АПГ реализует синтез познавательных процедур – индукции, аналогии и абдукции [6]. На этапе индукции генерируется множество гипотез о причинах интересующих свойств. Гипотеза представляет собой набор признаков, общий для нескольких обучающих объектов. На этапе аналогии множество гипотез применяется к тестовым объектам и на основе соответствия набора признаков гипотез и объектов принимается решение об отнесении тестового объекта к позитивным или негативным. Абдукция служит для обоснованного пополнения базы знаний интеллектуальной системы с использованием аксиомы каузальной полноты [6].

В [7, 8] предложен вариант ДСМ-метода для анализа тональности текстов. Под тональностью понимается эмоциональное отношение некоторого субъекта к определенному объекту, выраженное в тексте. Задачей анализа тональности является автоматическое определение такого отношения, выраженного значением на шкале тональности [9]. Шкала тональности может быть двухзначной (позитив–негатив) или многозначной. В данной статье используется двузначная шкала, но все результаты могут быть обобщены на многозначные шкалы.

На рис. 1 представлена структура интеллектуальной ДСМ-системы анализа тональности текстов.

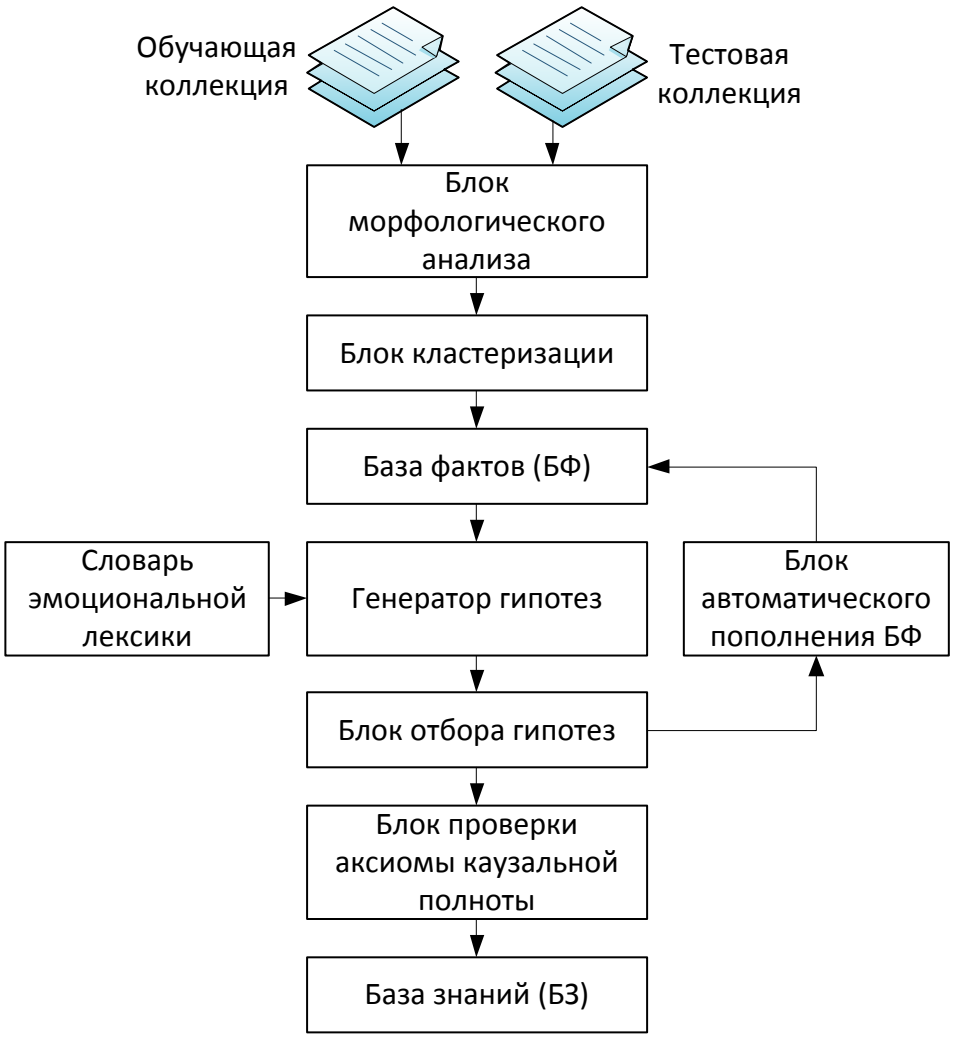


Рис. 1. Структура ДСМ-системы анализа тональности текстов

Процесс анализа текстов в предложенной структуре содержит следующие процедуры. Сначала выполняется морфологический анализ текстов, в результате которого определяются нормальные формы всех слов. Затем обучающие тексты кластеризуются с целью сокращения временны*х* затрат на этапе индукции [7]. После этого обучающие и тестовые тексты поступают в базу фактов (БФ); при этом обучающие тексты сохраняют признак принадлежности к определенному кластеру. Затем начинает работу генератор гипотез (этап индукции), на выходе которого формируется множество кандидатов в гипотезы. При этом учитываются только те слова-признаки, которые входят в словарь эмоциональной лексики. Следует также отметить, что генерация гипотез происходит независимо для каждого кластера обучающих текстов. В блоке отбора гипотез происходит оценка критерия пригодности гипотез. В качестве такого критерия может выступать, например, преобладание количества объектов одного класса, породивших данную гипотезу, над количеством объектов противоположного класса, в структуру которых входит данная гипотеза [8]. Результатом работы блока отбора гипотез является множество позитивных и негативных гипотез, которые применяются для определения тональности тестовых текстов в блоке автоматического пополнения БФ (этап аналогии). Те тексты, для которых удалось определить тональность, переходят в разряд обучающих. Этапы индукции–аналогии повторяются до момента стабилизации множества гипотез, после чего данное множество поступает на блок проверки аксиомы каузальной полноты [9], в результате работы которого возможно пополнение базы знаний ДСМ-системы (этап абдукции).

Таким образом, предложенная структура интеллектуальной ДСМ-системы позволяет осуществлять анализ тональности естественно-языковых текстов. Также возможна адаптация данной структуры к решению других задач автоматической обработки текстов, например, тематической классификации.

Список литературы

1. *Ferrucci D., Brown E. et al.* Building Watson: An Overview of the DeepQA Project // AI Magazine, 31(3), 2010. P. 59-79.
2. *Foxvog D.* Cyc // Theory and Applications of Ontology: Computer Applications, 2010. P. 259-278.
3. *Джарратано Дж., Райли Г.* Экспертные системы: принципы разработки и программирование. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007.
4. *Рассел С., Норвиг П.* Искусственный интеллект: современный подход. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.
5. *Арский Ю. М., Финн В. К.* Принципы конструирования интеллектуальных систем // Информационные технологии и вычислительные системы, №4. 2008. С. 4–37.
6. Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах / Под общ. ред. В. К. Финна. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009.
7. *Котельников Е. В.* Опыт применения ДСМ-метода для определения тональности текста // Труды Тринадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012. – Т. 1. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – С. 135–142.
8. *Котельников Е. В.* Классификация отзывов о фильмах с использованием ДСМ-метода // В мире научных открытий, №6.1(42). 2013. С.225–242.
9. ДСМ-метод автоматического порождения гипотез: Логические и эпистемологические основания / Сост. О.М. Аншаков, Б.Ф. Фабрикантова; Под общ. ред. О.М. Аншакова. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.

05.23.05

[1]Е.Ф. Кузнецова, [2]Л.А. Алимов д.т.н., [2]В.В. Воронин д.т.н.,
[1]Г.М. Соболев к.т.н., [1]М.А. Григорьев к.т.н.

[1]ФГБОУ ВПО Костромская ГСХА, архитектурно-строительный факультет,
кафедра «Технология, организация и экономика строительства»,
Кострома, solina642008@yandex.ru, rabtoes@mail.ru
[2]ФГОУ ВПО Московский Государственный Строительный Университет,
кафедра «Технология, вяжущих веществ и бетонов»

ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛИТЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ КАМНЕОБРАБОТКИ

Оптимизация и прогнозирование свойств строительных материалов представляет собой один из наиболее актуальных вопросов, решение которого позволит получить эффективные изделия и конструкции, с учетом заданных параметров и характеристик. Основой для получения эффективных литых бетонных смесей и бетонов с заданными свойствами является рациональный подбор состава на основе математических зависимостей определенных для конкретных материалов.

Ключевые слова*: оптимизация и прогнозирование свойств, эффективные литые бетоны, местные материалы, отходы камнеобработки, математические модели.*

Введение

При возведение зданий и сооружений наиболее распространенным конструкционным материалом являются тяжелые бетоны. В связи с этим встал вопрос в подборе состава бетонной смеси, соответствующей заданным требованиям. [1]

В основе наиболее распространенной методики подбора состава тяжелого бетона расчетно-экспериментальный метод, состоящий из расчетной части и обязательной экспериментальной проверки и корректировки назначенного состава. [5]

Проектирование состава обычных видов бетонов производится часто с использованием эмпирических формул, связывающих прочность бетона со свойствами вяжущего, заполнителей и водоцементным отношением.

По классической методике определения состава бетонной смеси сначала определяют водоцементное отношение. На втором этапе задаются значением расхода воды на основании полученных эмпирических значений, приведенных в таблице, для материалов с определенными значениями крупности, водопотребности и других характеристик. После чего определяют расход заполнителей. [3]

Для повышения эффективности бетона и бетонных смесей в настоящее время все чаще применяют местные материалы и отходы промышленности. Однако стандартная методика подбора состава тяжелого бетона не может точно учесть влияния свойств исходных материалов на стадии проектирования. Наибольшую проблему представляют минеральные наполнители с высокой водопотребностью, которую невозможно корректно учесть данным способом.

Выходом из сложившейся ситуации является получение математических моделей свойств бетонных смесей и бетонов, полученных на основании исследования влияния структурных характеристик, а не расхода материалов.

Методы и материалы

Для изучения и математического описания процессов и явлений путем построения математических моделей, связывающих с помощью ряда параметров значения факторов и результаты эксперимента, используют метод планирования эксперимента. Основным требованием, предъявляемым к планам факторного эксперимента, является минимизация

числа опытов, при которой получают достоверные оценки вычисляемых параметров при соблюдении приемлемой точности математических моделей. В этом случае задача обработки результатов факторного эксперимента заключается в определении численных значений указанных параметров. [4]

Рассмотрим методику планирования эксперимента на основе изучения свойств системы «многокомпонентное вяжущее–добавки–заполнитель–вода».

Наибольшее значение для проведения эксперимента принимает выбор факторов, параметров оптимизации и моделей. В качестве факторов примем структурные характеристики: концентрацию смешанного вяжущего (C_B), истинное водовяжущее отношение (W/B_B), доля отсева дробления гравия (r) в смеси мелкого заполнителя и доля мелкого заполнителя в смеси заполнителей (r_1).

Параметрами оптимизации также как и в классическом методе подбора состава тяжелого бетона является прочность в возрасте 28 суток и подвижность бетонной смеси (расплыв конуса).

В итоге будут получены четырехфакторные математические модели, на основании которых можно проводить оптимизацию и прогнозирование свойств литых бетонных смесей и бетонов.

Результаты и обсуждение результатов

Точность математической модели зависит не только от выбора факторов, но и от значений интервалов их варьирования. Для того, чтобы определить диапазон исследования необходимо проводить предварительные эксперименты для получения линейных зависимостей влияния отдельных компонентов на свойства бетонов.

После проведения предварительной подготовки были приняты следующие интервалы варьирования факторов (таблица 1).

Таблица 1.

Факторы и уровни их варьирования.

Факторы	Значения интервалов варьирования				
	-2	-1	0	1	2
x_1 - объемная концентрация смешанного вяжущего, C_B	0,17	0,2	0,23	0,26	0,29
x_2 - истинное водовяжущее отношение, W/B_B	0,2285	0,2371	0,2457	0,2543	0,2628
x_3 – доля отсева дробления гравия в смеси мелкого заполнителя (r)	0	0,05	0,1	0,15	0,2
x_4 – доля мелкого заполнителя в смеси заполнителей (r_1)	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51

В результате проведения эксперимента были получены следующие математические зависимости:

$$P = 59{,}29 + 4{,}40 \cdot x_1 + 1{,}56 \cdot x_2 + 0{,}56 \cdot x_3 - 0{,}98 \cdot x_4 + 0{,}40 \cdot x_1^2 - 0{,}28 \cdot x_2^2 + \\ + 0{,}34 \cdot x_3^2 - 0{,}03 \cdot x_4^2 + 1{,}22 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0{,}16 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0{,}84 \cdot x_1 \cdot x_4 - 1{,}09 \cdot x_2 \cdot x_3 - \\ - 0{,}78 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0{,}59 \cdot x_3 \cdot x_4 \quad (1)$$

$$R_{28} = 38{,}93 + 4{,}10 \cdot x_1 - 1{,}48 \cdot x_2 - 0{,}75 \cdot x_3 - 1{,}14 \cdot x_4 - 0{,}56 \cdot x_1^2 + 0{,}28 \cdot x_2^2 + \\ + 0{,}03 \cdot x_3^2 + 0{,}10 \cdot x_4^2 + 0{,}20 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1{,}20 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0{,}46 \cdot x_1 \cdot x_4 + \\ + 0{,}64 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0{,}67 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0{,}50 \cdot x_3 \cdot x_4 \quad (2)$$

где P - диаметр расплыва конуса (см), R_{28} - прочность на сжатие в возрасте 28 суток (МПа);

$$x_1 = \frac{C_B - 0.23}{0.03}; \qquad x_2 = \frac{W/B_B - 0.2457}{0.0086};$$

$$x_3 = \frac{r - 0.1}{0.05}; \qquad x_4 = \frac{r_1 - 0.45}{0.03}.$$

Однако, для решения системы необходимо, чтобы количество неизвестных совпадало с количеством уравнений. То есть для оптимизации подбора состава можно ввести дополнительные требования к свойствам бетонной смеси и бетонов (например, заданная марка по морозостойкости и водонепроницаемости) или уменьшить количество неизвестных, установив для них конкретные значения из исследуемого диапазона.

Для литых бетонных смесей наиболее важным показателем является подвижность, которая может регулироваться гранулометрическим составом заполнителей.

Исследование показало, что наибольший эффект достигается для значений доли отсева дробления гравия в смеси мелкого заполнителя r=0.15 и доли мелкого заполнителя в смеси заполнителей r_1=0.42.

Исходя из этих значений уравнения 1 и 2 примут вид:

$$P = 60{,}54 + 5{,}08 \cdot x_1 + 1{,}25 \cdot x_2 + 0{,}40 \cdot x_1^2 - 0{,}29 \cdot x_2^2 + 1{,}22 \cdot x_1 \cdot x_2 \qquad (3)$$

$$R_{28} = 39{,}95 + 3{,}36 \cdot x_1 - 1{,}52 \cdot x_2 - 0{,}56 \cdot x_1^2 + 0{,}28 \cdot x_2^2 + 0{,}20 \cdot x_1 \cdot x_2 \qquad (4)$$

Выводы и заключения

Планирование эксперимента – мощный инструмент экспериментально-статистического исследования и оптимизации сложных систем. Исключая слепой поиск, оно значительно сокращает число опытов, следовательно, затраты и сроки проведения эксперимента, дает возможность получить количественные оценки влияния факторов, математические модели. Применение методов планирования эксперимента по сравнению с традиционными методами позволяет повысить эффективность научных исследований в 2–10 раз. [2]

Получение математических моделей с введением структурных характеристик в качестве факторов исследования в свою очередь дает возможность прогнозировать свойства бетонных смесей и осуществлять подбор их состава с учетом особенностей исходных материалов.

Список литературы

1. *Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В.* Прогнозирование свойств бетонных смесей и бетонов с техногенными отходами // Известия ВУЗов. Строительство. -1997. - №4 - с 68-72

2. *Зедгинидзе И.Г.* Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: «Наука», 1976, с. 390.

3. Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006-86). – М: ЦИТП, 1990.

4. Химическая энциклопедия. Под ред. И. Л. Кнунянца. – М.: Советская энциклопедия. 1988.

5. *Черкасов Г.И.* Введение в технологию бетона. – Иркутск: Восточно-сибирское книжное издательство, 1974. с. 307

05.13.01

П.В. Ликин, Д.А. Ляхманов, Э.С. Соколова

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева,
институт радиоэлектроники и информационных технологий,
кафедра информатики и систем управления,
Нижний Новгород, pavellikin@gmail.com

РЕАЛИЗАЦИЯ ПАКЕТНОГО ФИЛЬТРА В КОНТРОЛЛЕРЕ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ

Исследуется возможность реализации пакетного фильтра в программно-конфигурируемых сетях (ПКС), содержащего простую логику по фильтрации пакетов. Проведена аналогия с классическими сетями и выявлены преимущества ПКС. Представлен результат работы прототипа, реализующего описанную логику.

Ключевые слова: *программно-конфигурируемы сети, брандмауэр, пакетный фильтр.*

Рост темпов развития информационных технологий, создания информационных систем, охватывающих все сферы современной жизни, приводит к поиску новых решений в области разработки и внедрения аппаратных и программных комплексов, обеспечивающих процессы обработки, хранения и передачи данных в сетях. Сетевые технологии используются для обмена данными в сетях различного уровня, а также внутри отдельных устройств сетевого оборудования. При этом процесс управления классическим сетевым оборудованием довольно сложен и однообразен. Каждая единица оборудования должна быть настроена вручную, и при этом коммуникация внутри сети не должна нарушаться.

Архитектура программно-конфигурируемых сетей позволяет управлять сетевыми ресурсами и потоками данных программно-аппаратных комплексов на базе протокола OpenFlow, централизованно через программный контроллер, что приводит к повышению эффективности управления компьютерными сетями и повышает их производительность. Это возможно благодаря вынесению логики по принятию решений в сети на контроллер и использованию OpenFlow коммутаторов в сетевой топологии, которые могут предоставлять функции как коммутации, так и маршрутизации трафика внутри сети.

При необходимости реализовать политику безопасности в корпоративной сети используют брандмауэры, которые делятся на два больших класса: аппаратные средства, которые могут выполнять функции пакетных фильтров, и программные средства. Первые очень дороги и сложны в настройке, а для обеспечения надлежащего уровня безопасности необходимо использовать несколько аппаратных брандмауэров в разных сегментах сети. Программные брандмауэры делятся на пакетные фильтры и прокси-сервера (proxy). Часто пакетные фильтры интегрируются в стек сетевых протоколов и принимают решения, анализируя заголовок полученного пакета. Брандмауэр типа proxy работает на уровне приложений и позволяет скрыть источник передачи. Язык установления правил в брандмауэрах довольно гибок, что позволяет создавать правила разной степени сложности и ветвления, при этом, чем длиннее и сложнее правило, тем медленнее обрабатывается пакет, что вносит задержку в передачу пакета.

Благодаря концепции централизованного управления данными реализация пакетного фильтра на базе ПКС займет минимальное время при сохранении функциональности. Следовательно, такой подход не только сохранит логику используемых политик безопасности, но и поможет избавиться от дополнительного оборудования, в частности, дорогостоящих аппаратных брандмауэров. Используя сочетание из контроллера и коммутаторов ПКС, можно обеспечить не только управление потоками трафика в сети, но и

гибко настраивать правила по фильтрации пакетов, соответствующие простым политикам безопасности.

В ПКС управление осуществляется централизованно с помощью специального программного контроллера, так же называемого сетевой операционной системой. Конфигурационные сообщения между контроллером и коммутаторами в ПКС передаются по протоколу OpenFlow. Сетевое оборудование с поддержкой ПКС, как правило, предоставляет интерфейс программирования приложений (Application Programming Interface или API) для гибкой настройки. Вызывая через OpenFlow контроллер API функции на коммутаторе, возможно настраивать его в реальном времени. Гибким механизмом конфигурации является возможность контроллера подписаться на события, происходящие в коммутаторе. При наступлении такого события контроллер будет оповещен и сможет его обработать по заданной логике.

ПКС коммутатор обрабатывает пакеты в соответствии с установленными на нем записями потока (Flow entries). В свою очередь, записи потока располагаются в таблице потока (Flow table). В зависимости от версии протокола коммуникации OpenFlow таблица потока может быть одна (OpenFlow v1.0) или несколько (OpenFlow v1.1 или более поздняя версия). Коммутатор сравнивает поля в заголовке полученного пакета с полями сравнения (Matching fields) в записях потока и выполняет необходимое для потока действие. Если в первой таблице потока запись не была найдена, то коммутатор переходит в следующую таблицу в так называемом конвейере (Pipeline) и продолжает поиск. Если полезной записи для пакета не найдено, то пакет будет обработан в соответствии со стандартной записью. Контроллер устанавливает стандартную запись на каждый новый присоединившийся коммутатор с минимальным приоритетом, и, согласно ей, пакет либо направляется на контроллер, либо отбрасывается.

Предположим, что наша внутренняя сеть обменивается данными только с доверенными источниками из внешней сети или другим сегментом корпоративной сети, MAC адреса которых мы знаем. Тогда логика по фильтрации пакетов сводится к следующему:

1. Поиск MAC адреса источника в списке доверенных адресов.
2. Если MAC адрес найден и порт, с которого пакет был получен, ожидаемый, то необходимо установить запись потока и пропустить пакет.
3. В остальных случаях будет установлена запись потока для отбрасывания пакета.

В результате проведенных исследований фильтр был реализован в OpenFlow контроллере POX, а для простоты был взят случай, когда на границе нашей сети находится один OpenFlow коммутатор. Тестируемая сеть расположена в сегменте 2 и может обмениваться пакетами с сегментом 1 из корпоративной сети (рис. 1), в которых общение происходит по ПКС технологии.

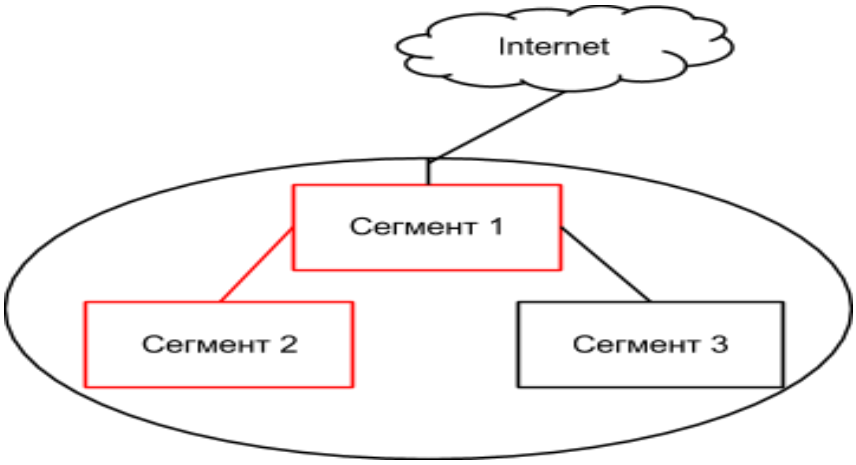


Рис. 1. - Сегменты в корпоративной сети.

MAC адреса доверенных источников, между которыми происходит коммуникация внутри сети, хранятся в файле с расширением csv. Каждому MAC адресу соответствует порт, на который пакет должен быть передан.

При старте контроллер читает файл с доверенными адресами и заполняет ассоциативный массив, ставя в соответствие MAC адрес и порт. Согласно стандартному поведению, коммутатор будет посылать пакеты на контроллер, который примет решение по обработке. Записи потока с доверенными адресами устанавливаются на каждый OpenFlow коммутатор по мере необходимости.

В качестве площадки для проведения тестирования был выбран эмулятор сетей Mininet, который позволяет создать сколь угодно сложную сетевую топологию, как из классических, так и из ПКС коммутаторов.

```
mininet@mininet-vm:~$ sudo mn --controller remote --mac --switch ovsk --topo single,6
*** Creating network
*** Adding controller
*** Adding hosts:
h1 h2 h3 h4 h5 h6
*** Adding switches:
s1
*** Adding links:
(h1, s1) (h2, s1) (h3, s1) (h4, s1) (h5, s1) (h6, s1)
*** Configuring hosts
h1 h2 h3 h4 h5 h6
*** Starting controller
*** Starting 1 switches
s1
*** Starting CLI:
mininet> pingall
*** Ping: testing ping reachability
h1 -> h2 h3 h4 X X
h2 -> h1 h3 h4 X X
h3 -> h1 h2 h4 X X
h4 -> h1 h2 h3 X X
h5 -> X X X X X
h6 -> X X X X X
*** Results: 60% dropped (12/30 received)
mininet>
```

Рис. 2. - Результат работы приложения в эмуляторе сетей Mininet

Как видно из рис. 2, в эмуляторе сетей Mininet была запущена топология из 6 устройств с одним ПКС коммутатором (--switch ovsk --topo single,6), возрастающими MAC адресами (--mac) и удаленным контроллером (--controller remote).

Полагаем, что в корпоративной сети (рис. 1) сегменту 1 соответствуют доверенные устройства h1 и h2, а сегменту 2 h3 и h4. Сегмент 3 содержит устройства h5 и h6, которых нет в доверенном списке. Результат работы полностью соответствует описанной логике. Поддерживать коммуникацию внутри сети могут только доверенные хосты h1 (MAC = 00:00:00:00:00:01), h2 (MAC = 00:00:00:00:00:02), h3 (MAC = 00:00:00:00:00:03) и h4 (MAC = 00:00:00:00:00:04). Остальные пакеты отбрасываются.

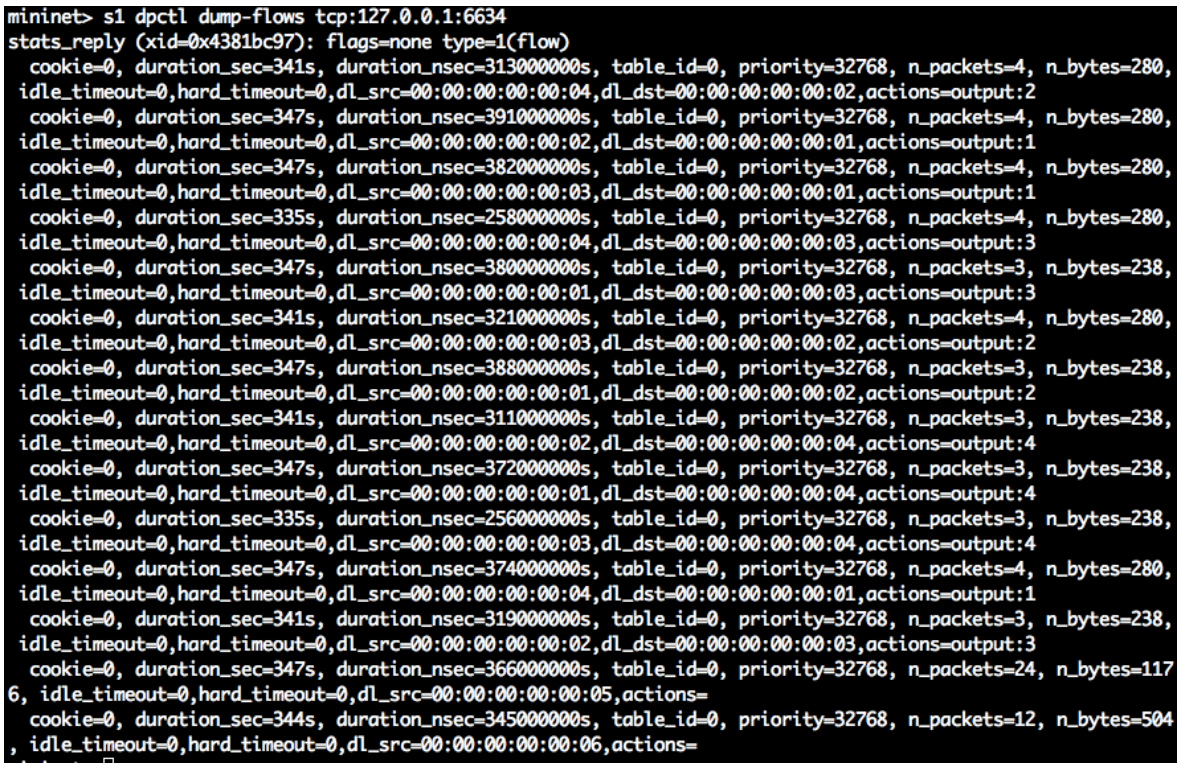


Рис. 3. - Записи потока, установленные на ПКС коммутатор

Записи потока соответствуют ожидаемым результатам (рис. 3). Для доверенных источников были установлены записи, позволяющие совершать коммуникацию в обе стороны. Пакеты от всех остальных источников отбрасываются, что соответствует записям потока с пустым полем действий.

Как мы видим, простота реализации пакетного фильтра, опирающегося в своей работе на MAC адреса, обусловлена гибкостью архитектуры ПКС.

Таким образом, использование технологии OpenFlow позволяет строить не очень дорогие высокопроизводительные сети, обеспечивая независимость инструментов высокоуровневого управления от аппаратного обеспечения, снимая нагрузку с коммутаторов, передавая функции управления сетевым потоком администратору сети, что способствует своевременному выявлению разного рода проблем, увеличению скорости трафика и повышению безопасности в сетях передачи данных.

Список литературы

1. *Open Networking Foundation*. *OpenFlow Switch Specification version 1.3.1*
2. *Таненбаум Э.* Компьютерные сети: Пер. с англ. – ЗАО Издательский дом Питер, 2003. – 992с.

05.23.02

Т.В. Мальцева, А.В. Черных

Тюменский государственный университет,
институт математики, естественных наук и информационных технологий,
кафедра математики и информатики, Тюмень, maltv@utmn.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОУПРУГОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ СВАИ

В статье предложена методика определения вязкоупругой механической характеристики песчаной армированной сваи. Данная методика основана на линейной наследственной теории вязкоупругости.

Ключевые слова: *вязкоупругость, механическая характеристика, метод ломаных, принцип Вольтерры, точки коллокаций.*

Для определения механической вязкоупругой характеристики песчаной армированной сваи, внедренной в водонасыщенный глинистый грунт, рассмотрим эксперимент, приведенный в работе [1]. Эксперимент заключался в испытании песчаной армированной сваи длинной $L = 3000$ мм и диаметром $d = 800$ мм, находящейся в водонасыщенном глинистом основании. Нагрузка на сваю передавалась через жесткую железобетонную плиту толщиной 500 мм (рис.1).

Вязкоупругую характеристику предлагается находить на основе линейной наследственной теории вязкоупругости, согласно которой решение задачи об определении механической характеристики разбивается на два этапа. Сначала выполняем расчет механической характеристики как упругой константы, то есть получаем решение без учета времени, затем с помощью переобозначений представляем его в изображениях по Лапласу-Карсону. На втором этапе для фиксированного поперечного сечения сваи осуществляем приближенный переход от известного изображения к искомому оригиналу по методу ломаных. [2,3].

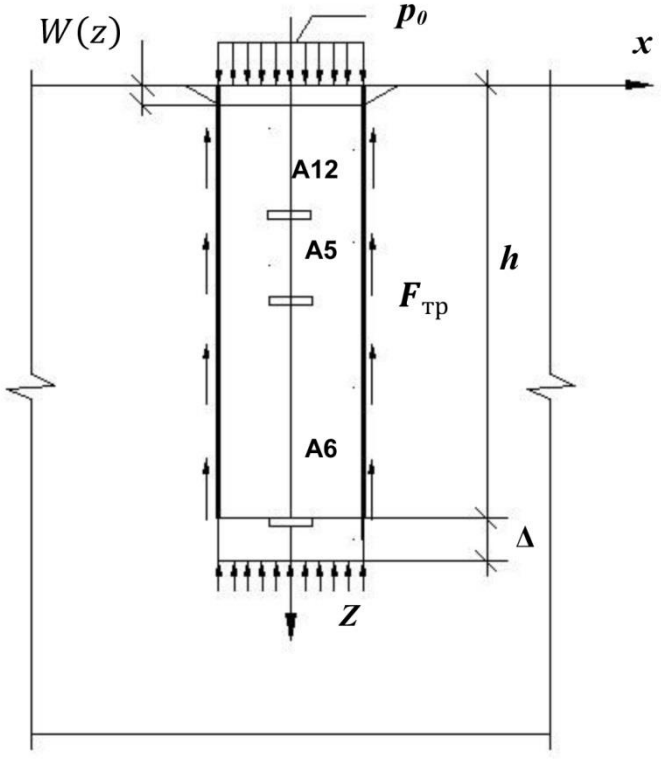


Рис. 1 – Расчетная схема песчаной армированной сваи

Приведем экспериментальный график перемещения марки А5 (рис.2).

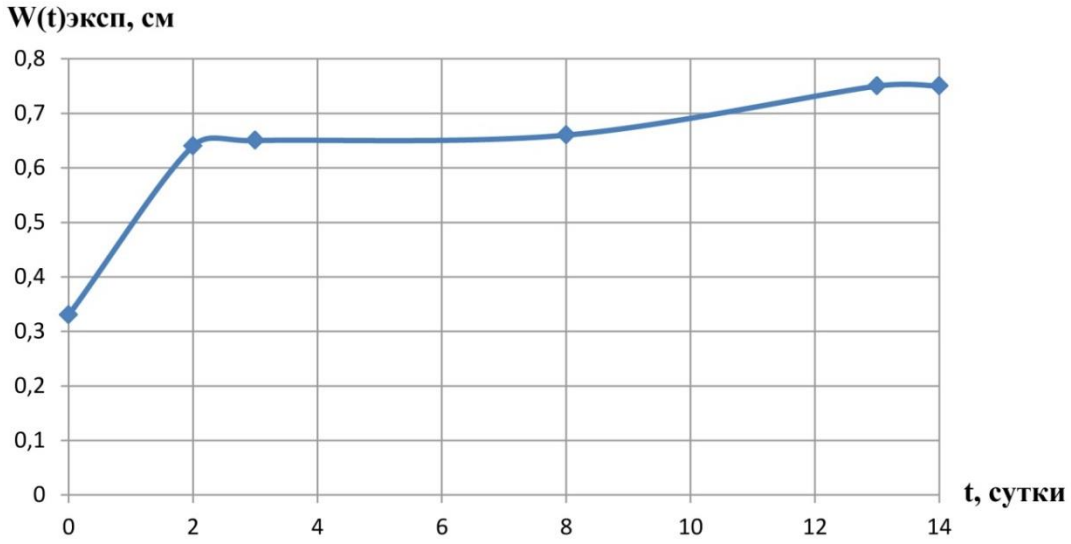


Рис. 2 – Экспериментальный график изменения осадки марки А5 во времени

Экспериментальные данные аппроксимируем специальным сплайном I порядка (ломаной линией) с применением функции Хевисайда

$$W(t) = W(0) \cdot [1 - \sum_{i=0}^{4}(a_i - a_{i+1}) \cdot (t - T_i) \cdot h(t - T_i)], \quad (1)$$

где a_i искомые параметры, $a_0 = a_5 = 0$, T_i – моменты времени, относящиеся к функции W, $W(0) = 0{,}33$ см – значение осадки в начальный момент времени.

Для четырех звеньев ломаной найдем значения безразмерных параметров каждого звена исходя из формул: $W(0) \cdot a_i = tg\alpha_i$, $a_i = \frac{tg\alpha_i}{W(0)}$, $i = 1,..,4$. В результате получим следующие значения: $a_0 = 0$; $a_1 = 0{,}473$; $a_2 = 0{,}03$; $a_3 = 0{,}006$; $a_4 = 0{,}055$; $a_5 = 0$.

Применяя теорему запаздывания из курса операционного исчисления, запишем изображение функции (1) по Лапласу-Карсону с теми же параметрами:

$$W^*(p_j) = W(0) \cdot \left[1 + \sum_{i=1}^{4} a_i \cdot \frac{1}{p_j} \cdot (e^{-p_j \cdot T_{i-1}} - e^{-p_j \cdot T_i})\right] \quad (2)$$

и построим графики функции $W(t)$ и ее изображения $W^*(p_j)$ (рис.3).

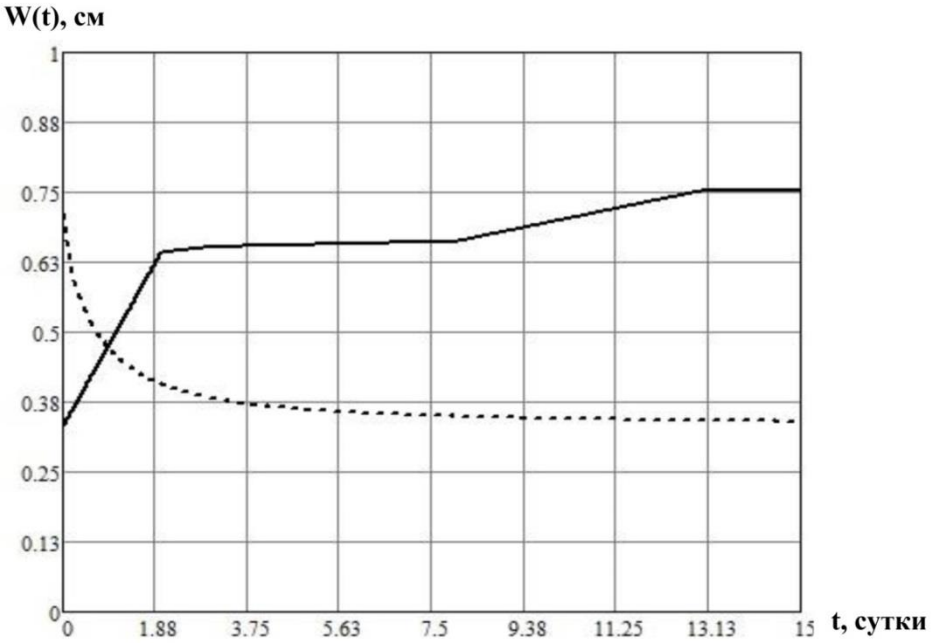


Рис.3 – Графики функций: функция $W(t)$ (——) и изображение $W^*(p_j)$ (·····).

Поведение сваи под нагрузкой описывается дифференциальным уравнением

$$-\frac{\partial W(z)}{\partial z}\cdot E\cdot A-k\cdot W(z)=0, \tag{3}$$

со следующим граничным условием:

$$\left.\begin{array}{l}\frac{\partial W(z)}{\partial z}\cdot E\\ z=0\end{array}\right|=-p_0; \tag{4}$$

Здесь $\frac{\partial W(z)}{\partial z}$ – относительные деформации песчаной армированной сваи; E – механическая характеристика (модуль деформации) песчаной армированной сваи, помещенной в водонасыщенный грунт (МПа); A – площадь поперечного сечения сваи (м^2); p_0 – нагрузка, передаваемая на песчаную сваю (МПа), k – коэффициентом пропорциональности между перемещениями $W(z)$ и силой трения, возникающей по боковой поверхности сваи (МН/м) (рис.1); $W(z)$ – вертикальные перемещения песчаной армированной сваи (м).

Из выражения для определения осадки [4], где c – постоянная интегрирования, определяемая из граничного условия:

$$W(z)=c\cdot e^{-\frac{kz}{EA}} \tag{5}$$

получим формулу, для расчета механической характеристики песчаной армированной сваи, внедренной в грунт:

$$E=\frac{-k\cdot z_i}{A\cdot\ln\frac{W(z_i)}{c}} \tag{6}$$

при условии, что $0<\frac{W(z_i)}{c}<1$, $z=z_i=1{,}5$ м.

На основании принципа Вольтерры осуществим переход от решения задачи теории упругости к решению вязкоупругой задачи путем переобозначений $E\to E^*$, $W\to W^*$. Тогда выражение (6) в изображениях по Лапласу-Карсону примет вид:

$$[E]^*(p)=-\frac{kz}{A}\cdot\frac{1}{ln\frac{W^*(p)}{c}}, \tag{7}$$

Выполним переход от изображения к оригиналу по методу ломаных [2,3]. Для этого введем искомый сплайн, аппроксимирующий оригинал $E(t)$:

$$E(t)=E(0)\cdot[1-\textstyle\sum_{i=0}^{4}(b_i-b_{i+1})\cdot(t-T_i)\cdot h(t-T_i)] \tag{8}$$

имеющий запись в изображениях:

$$E^*(p_j)=E(0)\cdot\left[1+\textstyle\sum_{i=0}^{4}b_i\cdot\frac{1}{p_j}\cdot(e^{-p_jT_{i-1}}-e^{-p_jT_i})\right] \tag{9}$$

где b_i – искомые параметры, $b_0=b_5=0$, T_i – моменты времени, относящиеся к функции E, $T_i=0$, p_j – точки совпадений для функции E, $j=1,..,5$.

Начальный параметр $E(0)$ определим из условия совпадения

$$E^*(p=\infty)=[E]^*(p=\infty),$$

получим $E(0)=0{,}00066$ МПа.

Составим СЛАУ из условия совпадения искомой аппроксимации $E^*(p_j)$ с заданной функцией $[E]^*(p_j)$ на системе точек совпадения $\{p_j\}_{j=1}^{j=5}$, которые называются так же точками коллакаций:

$$E^*(p_j)=[E]^*(p_j)$$

$$E(0)\cdot\left[1+\sum_{i=0}^{4}b_i\cdot\frac{1}{p_j}\cdot(e^{-p_jT_{i-1}}-e^{-p_jT_i})\right]=[E]^*(p_j)$$

$$\textstyle\sum_{i=0}^{4}b_i\cdot\frac{1}{p_j}\cdot(e^{-p_jT_{i-1}}-e^{-p_jT_i})=\frac{-\frac{kz}{A}\cdot\frac{1}{ln\frac{W^*(p)}{c}}}{E(0)}-1,\quad j=1,2,3.$$

Последнее уравнение СЛАУ запишем для точки $p = 0$ или для точки $T = \infty$ в оригинале, оно будет отличным от трех уравнений системы:

$$\sum_{i=0}^{4} b_i \cdot (t_i - t_{i-1}) = \frac{-\frac{kz}{A}\cdot\frac{1}{ln\frac{W^*(0)}{c}}}{E(0)} - 1 \qquad (10)$$

Таким образом, получим СЛАУ 4-го порядка:

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^{4} b_i \cdot \frac{1}{p_1} \cdot (e^{-p_1 T_{i-1}} - e^{-p_1 T_i}) = \frac{-\frac{kz}{A}\cdot\frac{1}{ln\frac{W^*(p)}{c}}}{E(0)} - 1 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \sum_{i=0}^{4} b_i \cdot (t_i - t_{i-1}) = \frac{-\frac{kz}{A}\cdot\frac{1}{ln\frac{W^*(0)}{c}}}{E(0)} - 1 \end{cases} \qquad (11)$$

Точки коллокаций p_j, j = 1, .., 4 назначаем из решения уравнения [3] :

$$p_j = \frac{lnT_j - lnT_{j-1}}{T_j - T_{j-1}},\ j = 1, .., 3.$$

Из решения СЛАУ получим искомые параметры b_i: $b_0 = 0{,}212709$, $b_1 = 0{,}210625$, $b_2 = 0{,}074065$, $b_3 = 0{,}016939$. Таким образом, специализированный сплайн $E(t)$ становится известной функцией времени (рис.4).

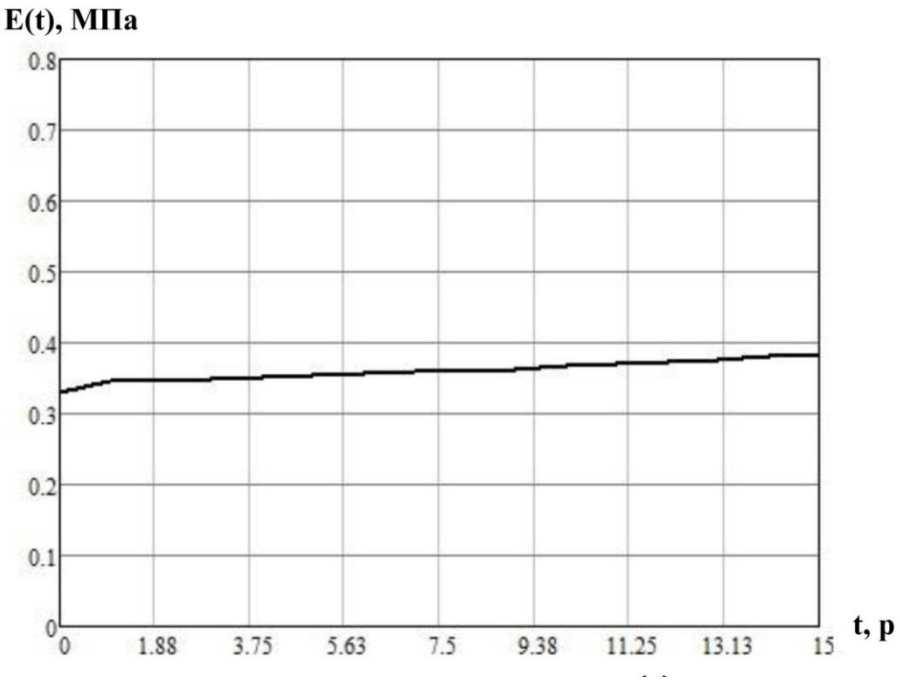


Рис. 4 – График функции $E(t)$

Поскольку $W(t)$ монотонно возрастающая функция, то для определения параметров ломаной линии механической характеристики достаточно рассмотреть четыре звена. Если экспериментальные кривые имеют немонотонный характер, то для определения механической вязкоупругой характеристики количество звеньев ломаной увеличится, что приведет к повышению порядка СЛАУ. Однако необходимо помнить, что задача перехода от изображения к оригиналу является некорректной, что ограничивает рассмотрение СЛАУ более десятого порядка [5].

Список литературы

1. *Бай В.Ф., Краев А.Н., Набоков А.В., Новиков Ю.А.* Исследование напряженно-деформированного состояния основания с внедренной песчаной армированной сваей в натурных условиях//Научно-технический вестник Поволжья №2/ Казань: 2011.
2. *Мальцев Л.Е.* Теория вязкоупругости для инженеров-строителей/ Мальцев Л.Е., Карпенко Ю.И. - Тюмень, Издательство «Вектор Бук». – 1999. – 240с.
3. *Мальцева Т.В.* Математическая теория водонасыщенного грунта. – Тюмень, Издательство «Вектор Бук». – 2012. – 240 с.
4. *Мальцева Т.В., Парфенова Т.В*., Влияние точек совпадений в методе ломаных на обусловленность матрицы //Известие вузов, Нефть и газ, 2002 г, №3, С.101 – 105.
5. *Мальцева Т.В., Черных А.В.*, Определение механической характеристики песчаной армированной сваи, внедренной в грунт //Сборник материалов XII научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей ТюмГАСУ, - Тюмень: 2013 г, С.37 – 41.
6. Пат. 2361979, МПК^{51} E 02 D 27/08. Способ повышения несущей способности и устойчивости фундаментов на слабых водонасыщенных грунтах – 2009. – Бюл. №20.

05.09.03

М.В. Мартынюк, Д.В. Зырин, А.Б. Лоскутов, А.А Лоскутов

Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р.Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород, m_mart@mail.ru

ОЦЕНКА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ СЕТИ

Описан метод приближённого расчёта максимального значения периодической составляющей тока короткого замыкания для сложной линейной электрической цепи с гексагональной структурой

Ключевые слова: *равномерно распределённая гексагональная сеть, преобразование треугольник-звезда, ток короткого замыкания.*

Введение. Расчет токов короткого замыкания (КЗ) производится для выбора параметров электрооборудования по динамической устойчивости, а также для выбора уставок релейной защиты и автоматики. При этом в руководящих указаниях по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98 сказано, что расчет тока КЗ допускается проводить приближенно, но при условии, что погрешность расчетов не должна превышать 5÷10%.

Так как процедуры расчета токов КЗ в различных точках сложных замкнутых электрических сетей достаточно сложны и трудоемки, задача их приближённой оценки представляется весьма актуальной.

В предлагаемой статье сделана попытка создания оценочной методики расчета максимального значения периодической составляющей тока КЗ в гексагональной распределительной сети произвольной конфигурации. Описанию гексагональных распределительных сетей авторами посвящен ряд статей [3÷5]. Данная методика может оказаться полезной для сетей конфигурации и, соответственно, уставки которых меняются в режиме реального времени.

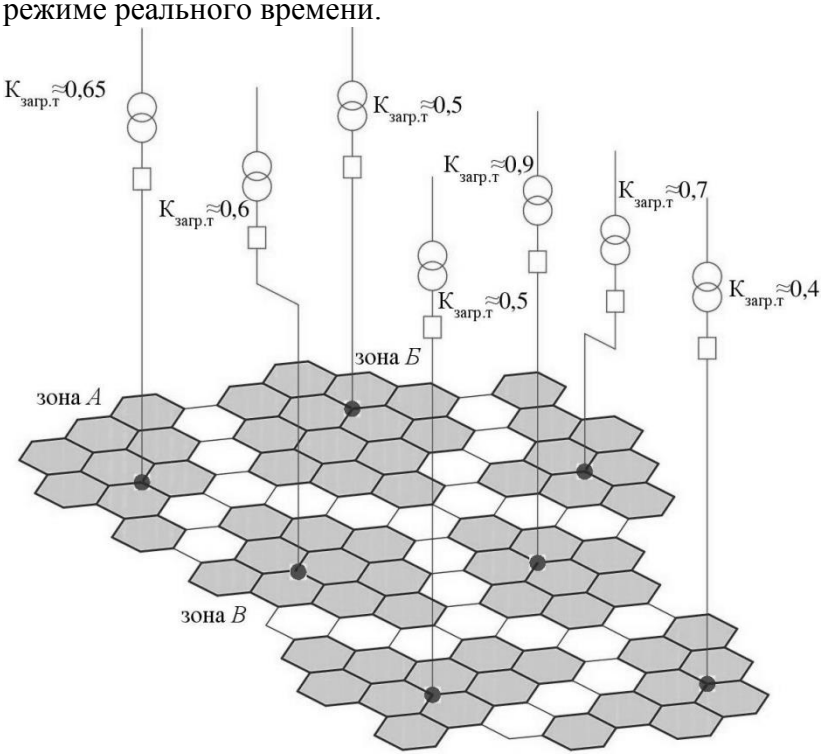


Рис. 1 – Деление гексагональной сети на зоны

Расчет тока короткого замыкания (ТКЗ) в гексагональных большой размерности в большим числом питающих трансформаторов, работающих параллельно, показал невозможность сегодня организации единой гексагональной сети по ограничению коммутационной способности выключателей и динамической стойкости силового оборудования. В результате была выдвинута рекомендация деления гексагональных сетей на зоны, работающие изолированно (каждая питается от одного или двух питающих трансформаторов), но имеющие связи в горячем резерве, что

позволяет подойти к гибкой регулировке загрузки питающих трансформаторов и *автоматическим* управлением распределением электроэнергии, благодаря возможности алгоритмизирования сети (см. рис. 1).

Постановка задачи. Гексагональная распределительная сеть содержит два источника напряжения, все ветви сети имеют одинаковые полные сопротивления $Z_{ветви}$. Заданы два узла с источниками напряжения и узел, в котором произошло короткое замыкание. Источники напряжения подключены к распределительной сети через реакторы с полным сопротивлением $Z_{реактора}$ (сопротивление выходной обмотки понижающего трансформатора). Рассмотрен наиболее частый тип КЗ (80% всех случаев) – однофазное короткое замыкание на землю (между фазой и землей).

Определение верхней границы тока КЗ. Предлагается в качестве оценки верхней границы тока КЗ использовать ток КЗ, который возникнет в гексагональной сети бесконечной протяжённости при аналогичном взаимном расположении источников напряжения и точки КЗ. Т.к. добавление дополнительных гексагональных ячеек вокруг имеющейся сети не может увеличивать сопротивление между узлами, вычисленный для бесконечной сети ток КЗ, может быть использован в качестве приблизительной верхней границы тока КЗ имеющейся электросети. Данная задача решается в несколько этапов.

Этап 1 – оценка снизу сопротивления между двумя любыми узлами бесконечной гексагональной сети.

Оценка сопротивления между двумя узлами бесконечной гексагональной сети была получена на основании численного моделирования. Проводился вычислительный эксперимент следующего вида. Генерировалась гексагональная сеть, образованная одинаковыми резистивными ветвями длиной $L_{ветви}$ и сопротивлением $Z_{ветви}$, ограниченная окружностью достаточно большого диаметра (∅). Далее, попарно вычислялись сопротивления между узлом A (расположенном в центре сети) и каждым из остальных узлов. Сопротивление между узлом A и произвольным узлом B определялось с помощью метода узловых потенциалов [1], реализованном на языке Matlab [2]. К узлам A и B подключались выходы источника напряжения и вычислялось распределение токов в сети. Сопротивление между узлами A и B определялось на основании тока, протекающего через источник напряжения.

Очевидно, что $Z_{ветви}$ выполняет роль масштабного коэффициента и можно исследовать действительный безразмерный коэффициент, представляющий собой отношение $K(N_{AB}) = Z_{AB}(N_{AB}) \cdot Z_{ветви}^{-1}$.

Результаты одного из экспериментов, представленные в виде зависимости K_{AB} от длины маршрута между точками A и B – N_{AB}, приводятся на рис. 2. Результаты многократных моделирований с возрастающими значениями "диаметра" сети (∅) показали, что все значения коэффициента $K(N_{AB})$ лежат "внутри коридора" верхняя и нижняя границы, которого на интервале $3 \le N \le (0.5 \cdot ∅)$ асимптотически (при увеличении ∅) приближаются к прямым, достаточно просто описываемым аналитически. При этом нижние границы коэффициента $K(N_{AB})$ для чётных и нечётных N_{AB} несколько отличаются и описываются двумя различными прямыми.

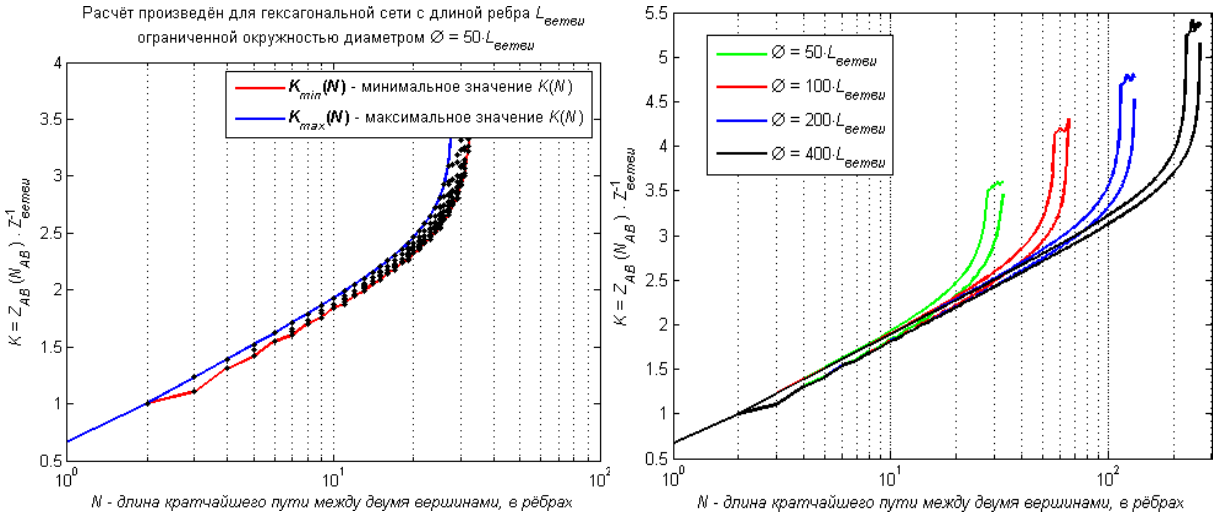


Рис. 2 – Расчёт значений коэффициентов $K(N_{AB})$: *а* – для сети ∅ = 50·$L_{ветви}$, *б* – для четырех гексагональных сетей с диаметром ограничивающей окружности 50, 100, 200 и 400 $L_{ветви}$

Проводилось моделирование для равномерных гексагональных сетей (РГС) ограниченных окружностями с диаметром 50·$L_{ветви}$, 100·$L_{ветви}$, 200·$L_{ветви}$ и 400·$L_{ветви}$. Результаты моделирований представлены на рис. 2*б* (отображены только $K_{min}(N_{AB})$ и $K_{max}(N_{AB})$).

После обработки по методу наименьших квадратов (МНК) наборов значений $K_{min}(N_{AB})$ и $K_{max}(N_{AB})$, полученных для гексагональной сети максимального размера (∅=400·$L_{ветви}$), были получены следующие уравнения:

$$K_{min}(N) = 0.56 \cdot \ln N + 0.49, \text{ где N = 3, 5, 7,…}$$
$$K_{min}(N) = 0.56 \cdot \ln N + 0.53, \text{ где N = 4, 6, 8,…} \qquad (1)$$

Для $N = 1$ и $N = 2$ значения $K_{min}(N)$ и $K_{max}(N)$ выводятся аналитически и равны: для $N = 1$: $Z_{min} = Z_{max} = ⅔$, для $N = 2$: $Z_{min} = Z_{max} = 1$.

Для оценки верхней границы тока КЗ потребуется минимальное сопротивление

$$Z_{min}(N) = Z_{ветви} \cdot K_{min}(N),$$

которое можно представить, как

$$Z_{min}(N) = Z_{ветви}(a \cdot \ln N + b) \qquad (2)$$

где a и b – безразмерные коэффициенты заданные в (1).

Этап 2 – Определение верхней границы тока КЗ для бесконечной гексагональной сети с двумя источниками напряжения

В данном случае бесконечную сеть соединённую с двумя источниками напряжения U_1 и U_2 (узлы 1 и 2) и одной точкой КЗ $U_3 = 0$ В (узел 3) можно рассматривать как трёхполюсник с эквивалентной схемой замещения треугольник (см. рис. 3).

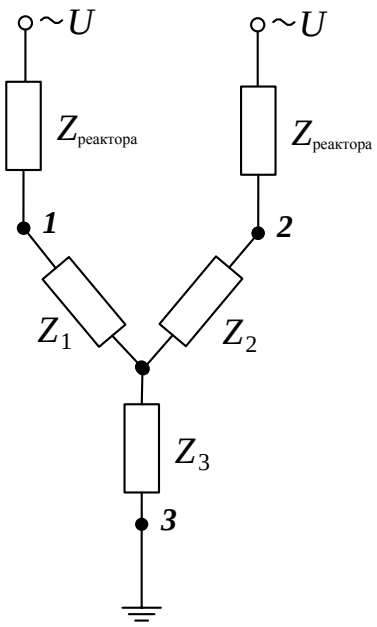


Рис. 3 – Эквивалентные схемы замещения РГС

На основании значений оценок сопротивлений между узлами сети 1, 2 и 3, полученных по формуле (2), можно вычислить Z_1, Z_2, Z_3 и рассчитать ток в узле 3. Соответственно, оценку максимального тока КЗ одинаковых напряжениях источников U и наличии реактора можно вычислить, как

$$I_{КЗ}^{\max} = U\left(Z_3 + \frac{\left(Z_1 + Z_{реактора}\right)\left(Z_2 + Z_{реактора}\right)}{\left(Z_1 + Z_2 + 2 \cdot Z_{реактора}\right)} \right), \qquad (3)$$

где Z_1, Z_2 и Z_3 – эквивалентные сопротивления схемы замещения.

Экспериментальная проверка. Проверка предлагаемой методики проводилась путём численного моделирования. Генерировался отдельный "изолированный сектор" (см. рис. 1) (от 40 до 100 "ячеек") гексагональной сети, с параметрами: $L_{ветви}$ = 340 м, $Z_{ветви}$ = 0.034872 Ом, $Z_{реактора}$ = 0.449876 Ом, U_1 = U_2 = 20 кВ. Граница сети выбиралась случайным образом. Пример одного из сгенерированных изолированных секторов представлен на рис. 4. Выделялось множество "внутренних" узлов (узлов, расположенных на расстоянии ≥ $L_{ветви}$ от границы сети, на рис. 4 "внутренние" узлы отмечены "о"). Далее перебирались все возможные варианты взаимного расположения двух источников напряжения и точки КЗ, с единственным ограничением – источник напряжения может быть подключен только к "внутреннему" узлу.

Для сети, представленной на рис. 4, число таких вариантов составило ≈ 8000. Для каждого варианта вычислялся ток КЗ (методом узловых потенциалов) и оценка максимального тока КЗ по формуле (1). Результаты моделирования сети с рис. 4*а* представлены на рис. 4*б*. По оси абсцисс рис. 4*б* изменяются номера вариантов взаимного расположения точки КЗ и источников напряжения упорядоченные в соответствии со значениями оценки верхней границы тока КЗ.

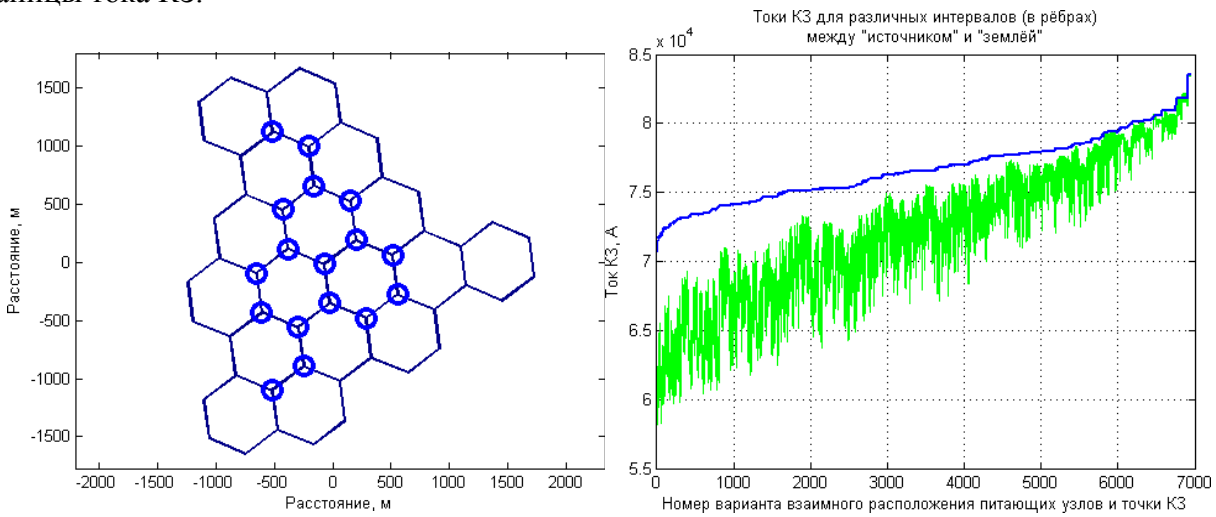


Рис. 4 – Модель "изолированного сектора" гексагональной сети: *а* – структура сети, *б* – токи короткого замыкания (точные значения и оценка верхней границы)

Выводы. Предлагаемая методика оценки максимального тока КЗ для равномерно распределённой гексагональной сети по формуле (3) достаточно проста и позволяет для небольшой гексагональной сети диаметром в 8÷10 ветвей дать оценку тока КЗ "сверху" с погрешностью < 20% или дать оценку тока КЗ с погрешностью < ±10%. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (гос. контракт №14.516.11.0104 от 14.10.2013).

Список литературы

1. *Демирчан К.С.* Теоретические основы электротехники: учебное пособие. Т. 1./ Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин – СПб.:Питер, 2003. – 445 с.
2. *Мартынюк М.В*. Расчёт интеллектуальных электрических цепей // М.В. Мартынюк, С.С. Наумов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012660450. 2012.
3. *Лоскутов А.Б., Соснина Е.Н., Лоскутов А.А.* Новый подход к построению электрических распределительных сетей России // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» г. Белгород. – 2011. – №3. – С.148-152.
4. *Лоскутов А.Б., Соснина Е.Н., Лоскутов А.А.* Топология городских распределительных интеллектуальных электрических сетей 20 кВ // Ежемесячный производственно-технический журнал: «Промышленная энергетика». – 2012. – № 5. – С. 11-17.
5. *Лоскутов А.Б., Мартынюк М.В., Лоскутов А.А.* Определение оптимального шага гексагональной распределительной сети // Актуальные проблемы электроэнергетики: Труды НГТУ. – т.77. – Н.Новгород: НГТУ – 2012. – С.160-164.

05.07.05

Е.В. Мехоношина, В.Я. Модорский, А.В. Козлова, Д.Ф. Гайнутдинова

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», аэрокосмический факультет, Центр высокопроизводительных вычислительных систем, Пермь, enya5591@gmail.com, modorsky@mail.ru,annvikoz@mail.ru, d.gaynutdinova@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ И ДАВЛЕНИЯ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ КАВИТАЦИИ

В статье представлены результаты численного моделирования в CAE системе кавитационных явлений, возникающих при высоком давлении при встречном движении поршней в замкнутой трубе, заполненной жидкостью. Дополнены физическая и математическая модели в трехмерной динамической постановке. Выявлена область возникновения кавитации в зависимости от параметров колебаний.

Ключевые слова*: кавитация, колебания, взаимодействие в динамической системе «жидкость-подвижная стенка».*

В ряде случаев наблюдается непрогнозируемое снижение напора центробежных насосов. Для поиска причин этого явления разработаны твердотельная, физическая и математическая модели в трехмерной постановке [1]. Физическая модель дополнительно учитывает следующее:

1. В трубе находятся два поршня, расположенные вблизи торцев.
2. Учитываются условия, ограничивающие перемещение поршня.

Расчетная схема представлена на рисунке 1.

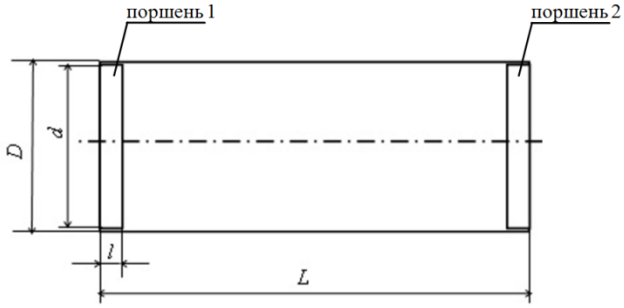


Рисунок 1 - Расчетная схема

где *D* – диаметр трубы (принят равным 40 мм);
d – диаметр поршня, равен 38 мм;
l – длина поршня, составляет 5 мм;
L – длина трубы, составляет 100 мм.

Скорость поршня можно описать следующим образом:

$$V = V_a \cdot \sin(\omega t), \quad (1)$$

где *V* -скорость поршня, м/с;
V_a - амплитуда колебаний поршня, м;
ω - частота колебаний поршня, Гц;
t - время колебаний, с.

В соответствии с принятой физической моделью используется математическая модель [1], которая базируется на законах сохранения массы, импульса, энергии. При этом учитывается конвективно-диффузионный перенос смешиваемых компонент, турбулентный характер течения. Система уравнений замыкается уравнением состояния идеального газа, начальными и граничными условиями. Относительные перемещения поршня не должны превышать 0,5%.

Рассчитаем максимальное перемещение поршня. Для этого запишем закон Гука.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (2)$$

где σ - нормальное напряжение в поперечном сечении, Па;

E - модуль упругости, Па;

ε - относительное перемещение поршня, %.

Нормальное напряжение σ можно записать через отношение составляющей силы, действующей перпендикулярно данному сечению, к площади этого сечения:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \tag{3}$$

где S - площадь поперечного сечения, м^2;

F - действующая сила, Н.

В свою очередь выражение для определения силы запишется следующим образом:

$$F = p \cdot S, \tag{4}$$

где p - давление, Па.

В соответствии с формулами (2) - (4) найдем относительное перемещение поршня:

$$\varepsilon = \frac{p}{E}, \tag{5}$$

где $E = 2030 \cdot 10^6$ Па (табличное значение);

$p = 10^7$ Па (взято по экспериментальным данным).

Тогда относительное перемещение составит:

$$\varepsilon = \frac{10^7}{2030 \cdot 10^6} \cdot 100\% = 0{,}5\ \%$$

Определим абсолютное перемещение поршня в соответствии с относительной деформацией ε.

$$\Delta l = l \cdot \varepsilon, \tag{6}$$

где l - полное возможное перемещение в метрах, что соответствует длине трубы с учетом толщин поршней. l=0,1-2·0,005=0,09 м;

Δl - абсолютное перемещение поршня, м.

$$\Delta l = 0{,}005 \cdot 0{,}09 = 0{,}00045 \text{ м} \approx 0{,}5 \text{ мм}$$

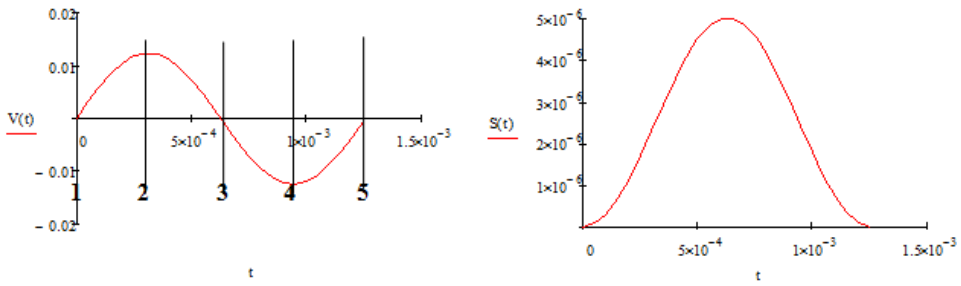
Найдем возможные комбинации амплитуд и частот для формирования плана вычислительных экспериментов.

Перемещение поршня можно оценить согласно следующей зависимости:

$$\Delta l = \int_0^t A sin(\omega t) dt = -\frac{A}{\omega} cos(\omega t)\Big|_0^t. \tag{7}$$

Зависимости (1) и (7) представлены на рисунке 2. Видно, что максимальное перемещение будет в момент времени, соответствующий T/2, где T - период колебаний. Выразим T через циклическую частоту:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \tag{8}$$



а б

Рисунок 2 – Графики зависимостей:

а – скорости поршня от времени; б –перемещения поршня от времени

Участки 1 – 4 соответствуют определенным положениям поршня, представленным на рисунке 3. Здесь положение 1 соответствует первоначальному, положение 2 соответствует половине максимального перемещения при движении поршня вправо по рисунку, положение

3 – это максимальное отклонение поршня от первоначального положения, положение 4 соответствует половине максимального перемещения при движении поршня влево по рисунку, положение 5 соответствует исходному.

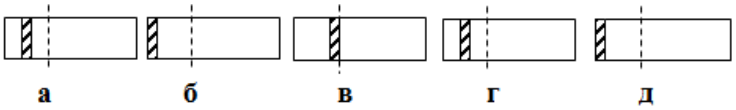


Рисунок 3 – Положения поршня

а – положение 1, б – положение 2, в – положение 3, г – положение 4, д – положение 5

Используя уравнения (7) и (8) получаем, что максимально допустимые перемещения поршня составляют:

$$\Delta l = \frac{2V_a}{\omega} \tag{9}$$

Принимаем, что амплитуда постоянна. Тогда, зная предельно допустимое значение перемещения, найдем минимальное значение возможной задаваемой циклической частоты:

$$\omega_{min} > \frac{2V_a}{\Delta l_{max}} \tag{10}$$

В соответствии с условием (10), разработан план проведения вычислительных экспериментов:

Таблица 1 – План проведения вычислительных экспериментов

		ω							
		50	**500**	**900**	**4000**	**4300**	**5000**	**6500**	**7000**
V_a	**0,0125**	+	+				+		
	0,125	—	+						
	0,2	—	—	+					
	0,5	—	—	—	+		+		+
	1	—	—	—	—	+			
	1,25	—	—	—	—	—	+		+
	1,5	—	—	—	—	—	—	+	

Знаком «—» обозначены вариации, при которых перемещение поршня превышает максимально допустимые. Вычислительные эксперименты при таких сочетаниях параметров не проводились. Рассмотрены комбинации, которые обозначены символом «+».

В качестве дополнительных параметров выступают опорные значения температуры T и давления P. Переменные T и P представлены относительными значениями, абсолютные значения которых вычисляются по формулам: $T_{АБС}=T_{НАЧ}+T_{ОП}$ и $P_{АБС}=P_{НАЧ}+P_{ОП}$. При этом $T_{АБС}$, $P_{АБС}$ – абсолютные значения переменных, $T_{НАЧ}$, $P_{НАЧ}$ – рассчитываемые начальные значения переменных, $T_{ОП}$, $P_{ОП}$– опорные величины. Для вычислительных экспериментов принимаются следующие значения $(T,P)_{ОП}=(293^0К, 101000Па)$, $(T,P)_{НАЧ}=(0^0$ К, 9900000Па).

Расчетная сетка имеет вид, представленный на рисунке4. Вблизи поршня проводилась адаптация сетки.

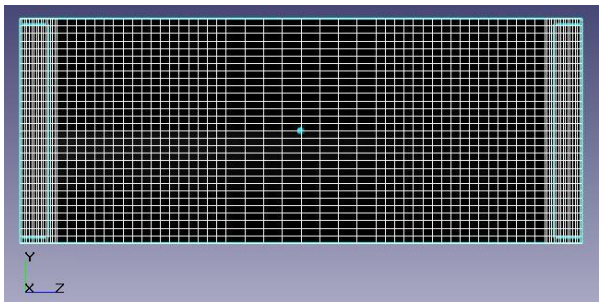


Рисунок 4 – Расчетная сетка

После проведения вычислительных экспериментов была определена область возникновения кавитации в трубе, зависящая от характеристик колебаний, при высоком давлении. Она представлена на рисунке 5. Область возникновения кавитации заштрихована.

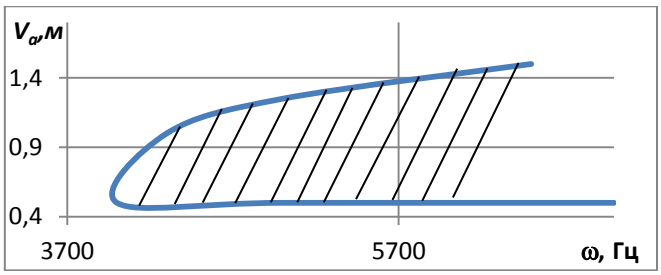


Рисунок 5 – Область возникновения кавитации

Переход в область более высоких частот может потребовать дополнительной адаптации сетки.

Список литературы

1.*Козлова А.В., Модорский В.Я.* Численное моделирование кавитационных эффектов в замкнутой трубе с подвижной стенкой Научно-технический вестник Поволжья. - Казань: НТВП, 2013. - 2: - стр. 132-135. ISSN 2079-5920.

05.07.05

В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
Аэрокосмический факультет, Центр высокопроизводительных вычислительных систем
Пермь, ar.shmakov@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ РДТТ

В работе представлены результаты исследований колебательных процессов в элементах конструкции РДТТ, которые можно рассматривать как акустические трансформаторы. В рамках вычислительного эксперимента исследуются процессы, протекающие в акустических трансформаторах и численно определяются коэффициенты усиления при различных геометрических и физико-механических характеристиках волноводов. Рассмотрены влияние параметров акустических трансформаторов на коэффициент усиления колебаний.

Ключевые слова: *акустические трансформаторы, колебательные процессы, коэффициент усиления, волновод, вычислительный эксперимент.*

Некоторые элементы конструкции РДТТ, подвергающиеся динамическому воздействию, можно рассматривать как акустические трансформаторы. Акустические трансформаторы или волноводы применяются для получения акустических колебаний большой амплитуды. По характеру изменения сечения в зависимости от расстояния до возбуждаемой поверхности, известны акустические трансформаторы со ступенчатым законом изменения сечения, конические и экспоненциальные.

Для изучения процессов в акустических трансформаторах разработана следующая физическая модель:

1. волновые процессы в стержневых конструкциях рассматриваются в трехмерной постановке;
2. нагрузка является гармонической;
3. нагрузка действует на широкий торец конструкции;
4. материал волновода – упругий, однородный;

На первом этапе, для поиска наиболее эффективных конструкций, исследуются процессы в акустических трансформаторах как источниках колебаний. Принималось, что длина волновода должна иметь вполне определенное значение, чтобы частота собственных колебаний устройства совпадала с частотой возбуждающих колебаний и имел место механический резонанс. Для проведения вычислительных экспериментов были построены шесть вариантов конструкций представленных на рис. 1. Первая группа волноводов (рис.1, а, б, в) - тела вращения со ступенчатым, линейным и параболическим изменением поперечного сечения. Вторая группа (рис.1, г, д, е) имеет в основании прямоугольное сечение.

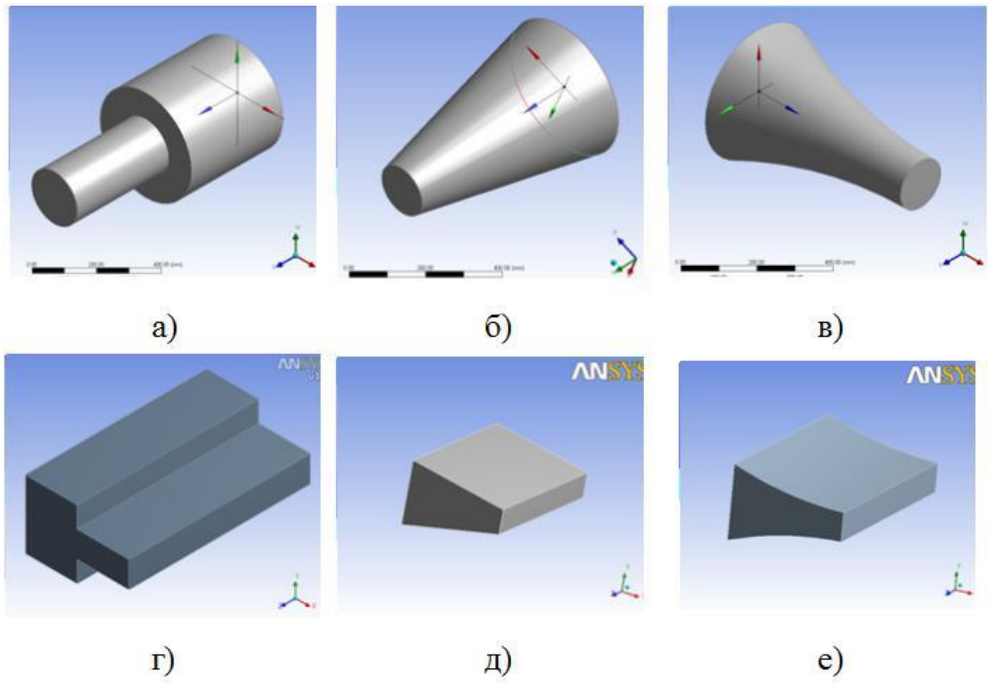


Рис. 1- Конструкции волноводов: а - Вариант А; б - Вариант Б; в - Вариант В; г - Вариант Г; д - Вариант Д; е - Вариант Е

На первом этапе необходимо определить собственные частоты и формы колебаний. Модальный анализ был проведен в программном комплексе ANSYS. Результаты модального анализа для первых мод колебаний позволили выявить соответствующие им частоты и визуально, по перемещениями, определить, какой частоте соответствуют колебания в направлении оси X. Полученные значения могут явиться начальными данными для расчета переходных процессов и исследования вынужденных или свободных колебаний.

На втором этапе был проведен гармонический анализ в диапазоне частот от 9 до 35 кГц, целью которого было определения напряженно-деформированного состояния конструкции при рабочих частотах. При проведении расчета в качестве граничных условий были заданы перемещения широкой грани вдоль оси X волновода.

Результаты гармонического анализа представлены на рис. 2.

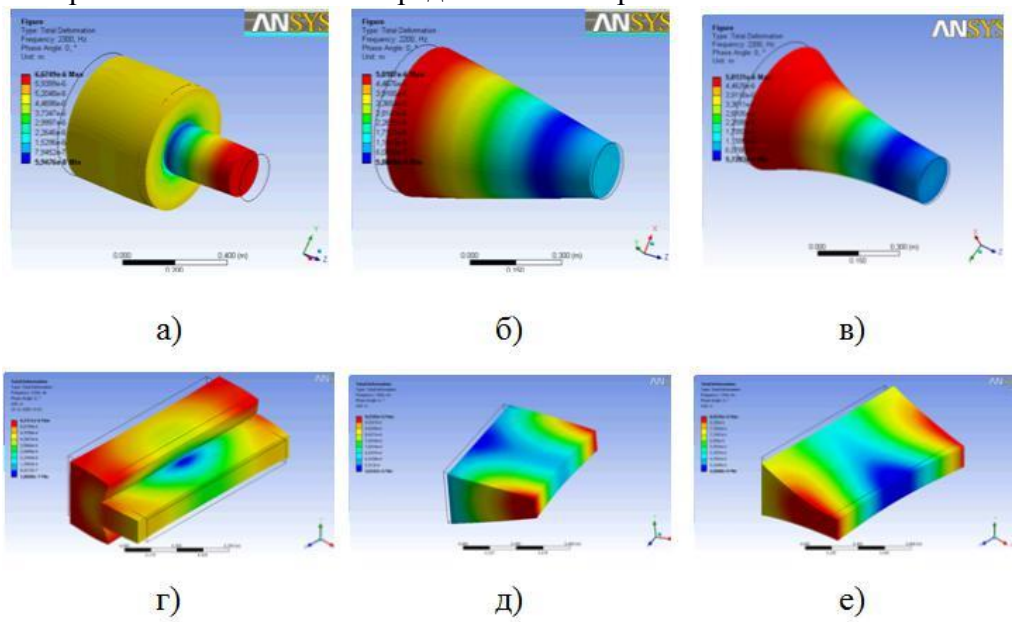


Рис. 2- Формы колебаний волноводов при частоте гармонической нагрузки 2300 Гц

При анализе форм колебаний видно, что оптимальными являются волноводы, имеющие форму тел вращения. Такая форма позволяет равномерно распределить нагрузку по поперечному сечению волновода. Это позволяет уменьшить НДС конструкции на 6-14%.

Гармонический анализ проводился для нескольких вариантов конструкций волновода с различными свойствами материалов, геометрическими характеристиками и значениями нагрузок. При проведении гармонического анализа определялись коэффициенты усиления колебаний, значения которых представлены в табл. 1. Анализ таблицы 1 показал, что наиболее чувствительными к изменению исходных параметров являются конструкции с прямоугольным сечением. Изменения коэффициента усиления достигают 10-20%. Изменения коэффициента усиления в волноводах, имеющих форму тел вращения достигают 5-10%. На коэффициент усиления, независимо от конструкции волновода, наиболее существенное влияние оказывают изменения физико-механических характеристик.

Таблица. 1 Коэффициенты усиления колебаний волноводов при частоте 2300 Гц

№ расчета	Параметр	Вариант конструкции					
		А	Б	В	Г	Д	Е
1	Базовый	5	3,9	3,9	2,9	2,6	2,6
2	E=5 ГПа	4,9	3,9	3,9	2,9	2,6	2,6
3	E=300 ГПа	5	3,9	3,9	2,9	2,6	2,6
4	m=0.1	5	3,9	3,9	3,7	3,4	3,4
5	m=0.49	4,8	3,8	3,8	2,3	2,3	2,3
6	r=1500 кг/м^3	5	3,9	3,9	2,9	2,6	2,6
7	r=15000 кг/м^3	5	3,9	3,9	2,9	2,6	2,6
8	A=0.1 мкм	5	3,9	3,9	2,9	2,6	2,6
9	A=10 мкм	5	3,9	3,9	2,9	2,6	2,6
10	L=0.01 м	5	3.9	3,9	2,9	2,6	2,6
11	L=1.5 м	5	3,9	3,9	2,9	2,6	2,6

На рис. 3 представлен график изменения амплитуды колебаний на узком торце конструкции Вариант Б. Как видно по графику, при частоте 26,5 кГц происходит резкое возрастание амплитуды колебаний. Данная частота соответствует собственной частоте колебаний конструкции волновода, полученного из модального анализа. На рис. 4 представлен график изменения коэффициента усиления колебаний, определяемого по зависимости:

$$K_y = \frac{U_{ут}}{U_{шт}}$$

где: K_y - коэффициент усиления; $U_{ут}$ - перемещения на узком торце, м; $U_{шт}$ - перемещения на широком торце, м.

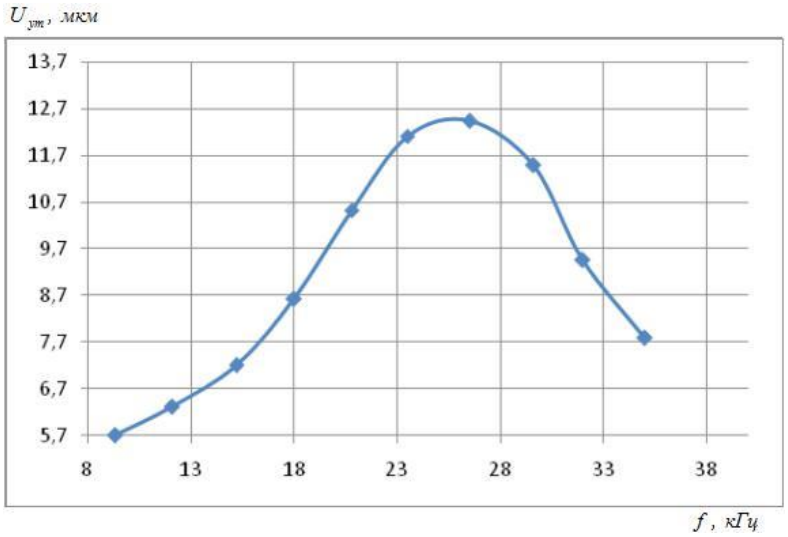


Рис. 3. Зависимость амплитуды перемещения рабочей поверхности от частоты

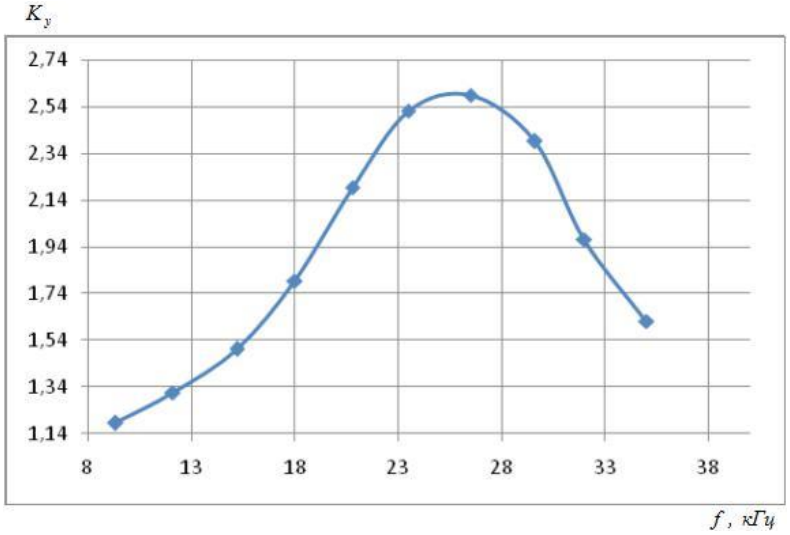


Рис. 4. График зависимости коэффициента усиления от частоты

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее оптимальной, с точки зрения напряженно-деформированного состояния, конструкцией волновода является форма тел вращения;
2. Наибольший коэффициент усиления колебаний достигается в волноводах в форме тел вращения;
3. На величину коэффициента усиления наибольшее влияние оказывают физико-механические характеристики и геометрия волновода. Изменение модуля упругости приводит к изменению коэффициента усиления на 1-2%, изменение коэффициента Пуассона - 2-5%.

Список литературы

1. *Басов К.А.* ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
2. *Козлова А.В.* Моделирование процессов охлаждения в канале переменного сечения газохода / А.В. Козлова, В.Я. Модорский, А.Н. Поник // Изв. высш. учеб. заведений. Авиационная техника. – 2010. – № . 4– С.23-26
3. *Петров В.Ю., Модорский В.Я.* Аэроупругое деформирование конструкции РДТТ при наддуве// Изв. высш. учеб. заведений. Авиационная техника. – 2011. – № . 3– С.28-30
4. *Модорский В.Я., Соколкин Ю.В.* Газоупругие процессы в энергетических установках. – М. Наука, 2007 – 176 с.

05.23.17

[1]В.Л. Мондрус д.т.н., [2]Д.К. Сизов к.т.н.

[1]Московский государственный строительный университет, факультет промышленного и гражданского строительства, кафедра строительной механики, Москва, mondrus@mail.ru
[2]ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА»,
отдел виброизмерений и проектирования систем виброзащиты, Москва, vibroprotect@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНОГО МЕТОДА ПРИ РАСЧЕТЕ ПЛАСТИНКИ С ОТВЕРСТИЯМИ

В работе представлены результаты расчета вариационно-разностным методом прямоугольной пластинки с учетом наличия в ней отверстий круглой формы.

Ключевые слова: *вариационно-разностный метод, численная реализация, пластинка с отверстиями.*

Одним из наиболее эффективных численных методов решения задач теории упругости, теории платин и оболочек является вариационно-разностный метод, основанный на решении систем линейных или нелинейных уравнений, характеризующих условие стационарности некоторого функционала. В некоторых случаях область, на которой приходится решать численную задачу не является звездной, то есть не всякую точку области можно соединить прямым отрезком с любой другой точкой той же области. В качестве примеров таких областей могут выступать, в частности, пластины с отверстиями различной формы.

В статье рассматривается поведение изгибаемой пластины с отверстиями и без них в рамках модели малых деформаций. Принимается, что нормальным напряжением σ_z, можно пренебречь по сравнению с другими компонентами напряжений, т.е. $\sigma_z = 0$.

Также принимается, что справедлива гипотеза Кирхгофа, согласно которой линейные элементы пластины первоначально перпендикулярные срединной поверхности, остаются прямыми и перпендикулярными к деформированной срединной поверхности пластины и не растягиваются.

На рис. 1,а приводится принятая схема координат для пластины без отверстия, а на рис.1,б приводится пластина с учетом одного отверстия в центре, а на рис. 1,в приводится пластина с отверстиями по углам

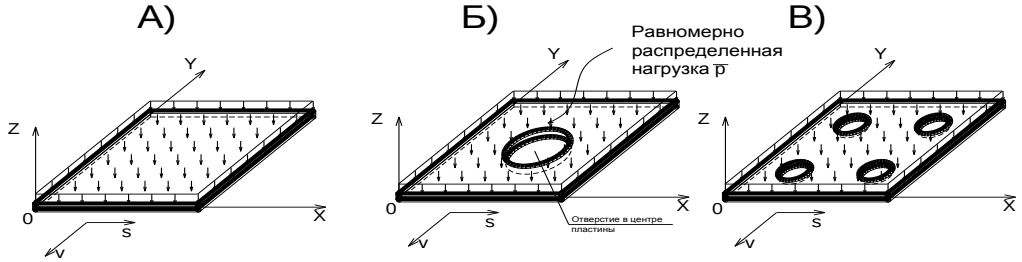


Рис. 1- Закрепленная по четырем сторонам пластина без отверстий, с одним отверстием и с четырьмя отверстиями по углам

Координата s отсчитывается вдоль контура, координата v представляет собой внешнюю нормаль к контуру пластины, нагрузка, действующая на пластину предполагается равномерно-распределенной $\bar{p}(x, y) = const$.

Полная потенциальная энергия пластины при изгибе (в предположении малых деформаций) дается выражением [2]:

$$П = \frac{1}{2}\iint\limits_{S_m} D\left\{\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)+2(1-\nu)\left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}\right)^2-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right]\right\}dxdy -$$

$$-\iint\limits_{S_m}\overline{p}wdxdy+\int\limits_{C_1}\left[\overline{M}_\nu\frac{\partial w}{\partial \nu}-\left(\overline{V}_z+\frac{\partial \overline{M}_{\nu s}}{\partial s}\right)w\right]ds \quad ,$$

где:

$w-$ прогиб пластины, $x, y-$ координаты точки пластины, S_m- область, занимаемая пластиной, C_1- граница области, занимаемая пластиной, $D-$ изгибная жесткость, выражается через толщину пластины и модуль упругости материала и коэффициент Пуассона следующим выражением $D=\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$.

Запишем конечно-разностный аналог для линейной задачи в случае малых деформаций (пластина жестко закреплена по контуру):

$$П = \frac{1}{2}D\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{w_{i+1,j}-2w_{i,j}+w_{i-1,j}}{h_x^2}+\frac{w_{i,j+1}-2w_{i,j}+w_{i,j-1}}{h_y^2}\right)+$$

$$+2(1-\nu)\left[\left(\frac{w_{i+1,j+1}-w_{i,j+1}-w_{i+1,j}+w_{i,j}}{h_x h_y}\right)^2-\right.$$

$$\left.-\left(\frac{w_{i+1,j}-2w_{i,j}+w_{i-1,j}}{h_x^2}\right)\left(\frac{w_{i,j+1}-2w_{i,j}+w_{i,j-1}}{h_x^2}\right)\right]h_x h_y -$$

$$-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\overline{p}_{i,j}w_{i,j}h_x h_y$$

Далее в расчете принимаются следующие исходные данные: размеры пластины в плане – 8х8 м, толщина пластины 0,22 м, модуль упругости материала Е=1,06х1010 Н/м2, коэффициент Пуассона $\nu=0{,}15$. Для реализации вариационно-разностного метода используется деление пластины сеткой 50х50. Нагрузка действующая как на пластины с отверстиями, так и на пластину без отверстий принимается равной $\overline{p}=-4900$ н/м2. Одно отверстие в центре имеет радиус 1,5 м, четыре отверстия по углам имеют радиусы по 0,5 м каждое. С целью учета наличия отверстий в местах их расположения жесткость пластины принимается на несколько порядков меньше жесткости основного материала (рис.2).

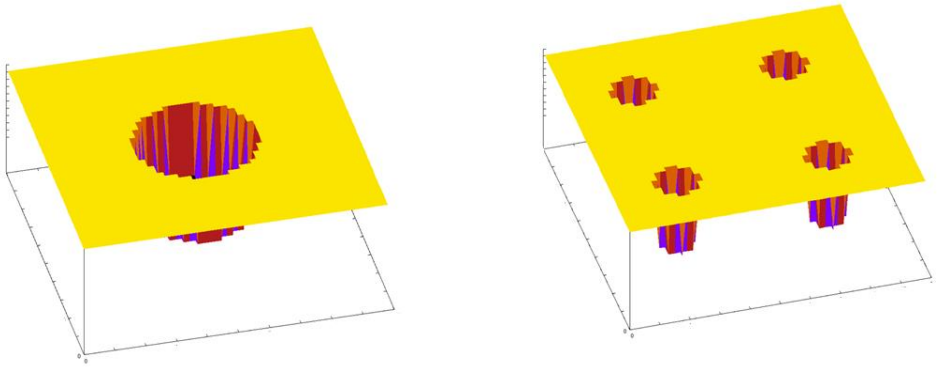


Рис. 2- Графики изгибных жесткостей пластин с учетом наличия отверстий

Как видно из представленных графиков (рис.2) величины изгибных жесткостей не обращаются тождественно в ноль в местах расположения отверстий в пластине, что позволяет обеспечить сходимость метода Зейделя при реализации численного решения.

На рис.3.(а-в) приводятся полученные изополя перемещений для пластины без отверстий и для пластины с учетом наличия одного и четырех отверстий.

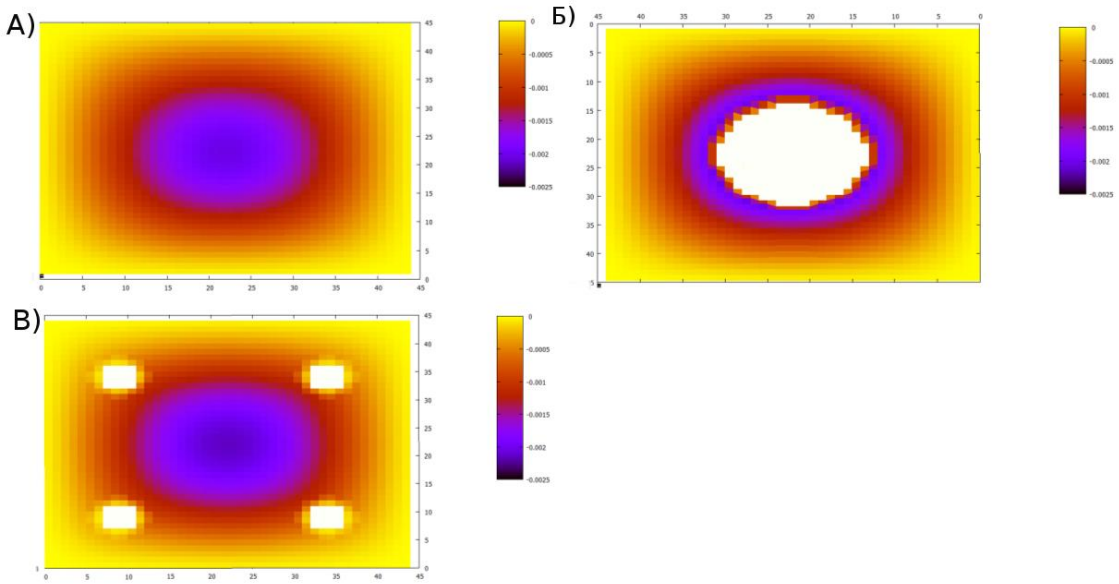


Рис.3- Изополя перемещений точек пластины жестко защемленной по контуру

Далее на рис. 4. приводятся графики прогибов для пластины без отверстия и с одним отверстием в центре, графики соответствуют сечению, проведенному через центр пластинки.

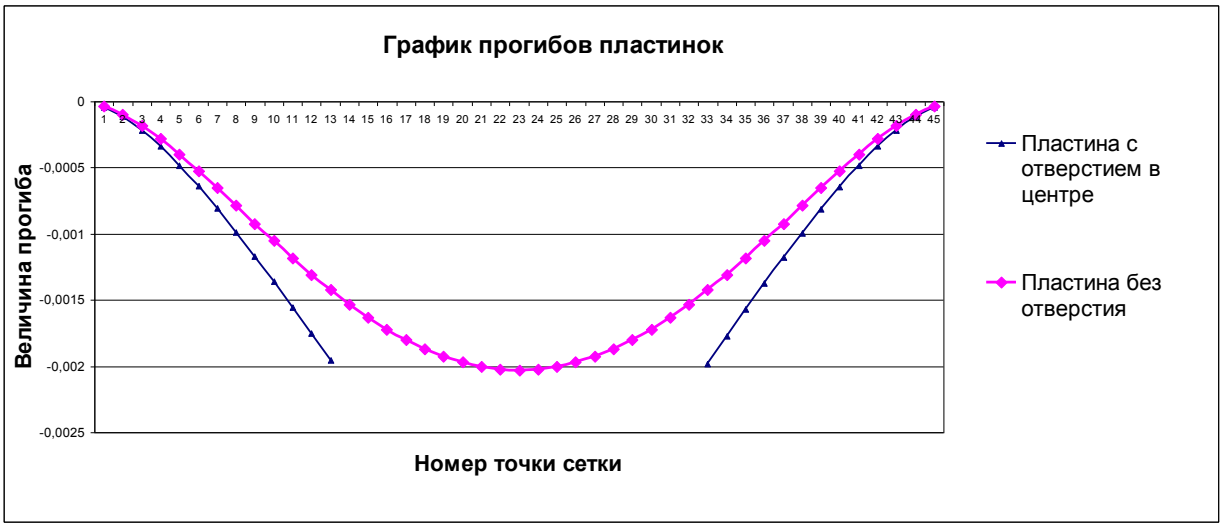


Рис. 4- Графики прогибов пластины

Таким образом, использование фрагментов вариационно-разностной сетки в местах отверстий с величинами жесткости значительно меньшей (на n-порядков), чем жесткость основных элементов пластины, позволяет получить решение задачи о статическом изгибе пластины с учетом наличия в ней отверстий. Возникающий вопрос о точности решений, зависящий в наибольшей степени от максимально допустимого соотношения жесткостей между материалом пластины и «материалом» в отверстии может быть разрешен с использованием современных 64-х битных компиляторов языков программирования, допускающих значительно больший диапазон представимых чисел, чем их 32-х битные предшественники.

Список литературы

1. *Михлин С.Г.* Вариационные методы в математической физике. М - Наука, 1970.
2. *Васидзу К.* Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М - Мир, 1987
3. *Соболев С.Л.* Уравнения математической физики. М - Наука, 1966

05.13.18

П.С. Мочалов, С.Н. Калашников

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, pavelmo4alov@live.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И КОМПЛЕКСОВ В 3D – ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕДАХ

В работе рассмотрены этапы математического моделирования применительно к созданию 3D виртуальных сред технологических процессов и комплексов.

Ключевые слова: *математическая модель, 3D виртуальная среда, технологический процесс*.

В настоящее время перспективной прикладной областью информационных технологий является создание и применение трехмерных интерактивных виртуальных сред, в которых пользователь может в пространстве взаимодействовать с созданными виртуальными объектами путем самостоятельного наблюдения, перемещения, действий и исследований. В таких средах максимально могут быть достигнуты критерии адекватности реальному миру в связи с наличием как функционального, так и пространственного соответствия. Поэтому Виртуальные среды активно используются в бизнес-приложениях, в научной и инженерной визуализации, образовании, рекламе, архитектуре и особенно в компьютерных играх. Перспективным является использование их при создании новых технологий, моделировании технологических процессов и комплексов, создание обучающих систем, тренажеров, симуляторов и виртуальных лабораторных работ по техническим дисциплинам.

Создание интерактивных 3D систем является многокритериальной оптимизационной задачей, решение которой должно обеспечивать адекватность виртуальной среды и быстродействие вычислительных процессов достаточное для формирования изображений в режиме реального времени.

В соответствие с этим, для решения таких задач, в работе предложены следующие **этапы технологии математического моделирования:**

1. *Сбор и анализ данных об объектах и технологических процессах комплекса.*
2. *Разработка математических моделей и алгоритмов.*
3. *Проектирование координатора взаимодействия моделей и объектов.*
4. *Проектирование и создание программного обеспечения.*
5. *Проведение экспериментов, сопоставление характеристик и свойств виртуальной среды, и реального объекта.*

Сбор и анализ данных об объектах и технологических процессах комплекса. Особенность технологических процессов и комплексов как объектов математического моделирования в 3D виртуальных средах состоит в том, что они представляют собой сложные организационно-технические объекты с наличием большого числа взаимодействующих структурных элементов с различными статическими и динамическими свойствами. Основными структурными компонентами комплексов являются средства технологического оснащения, предметы производства, персонал и технологические процессы или операции.

При выделении технологического комплекса как объекта моделирования, в соответствии с заданной целью – создание виртуальной среды, следует рассматривать объект исследования в двух системных свойствах: техническом и технологическом. Техническое рассмотрение заключается в выделении и формализации деятельности таких основных элементов как здание, агрегаты, машины, механизмы, узлы и т.д. Технологическими свойствами являются

функциональное содержание сущности процессов и стадий, особенности режимов управления и действия персонала.

В рамках такой декомпозиции на рисунке 1 приведена обобщенная структурная схема, раскрывающая основные системные и базисные блоки технологического комплекса как объекта моделирования.

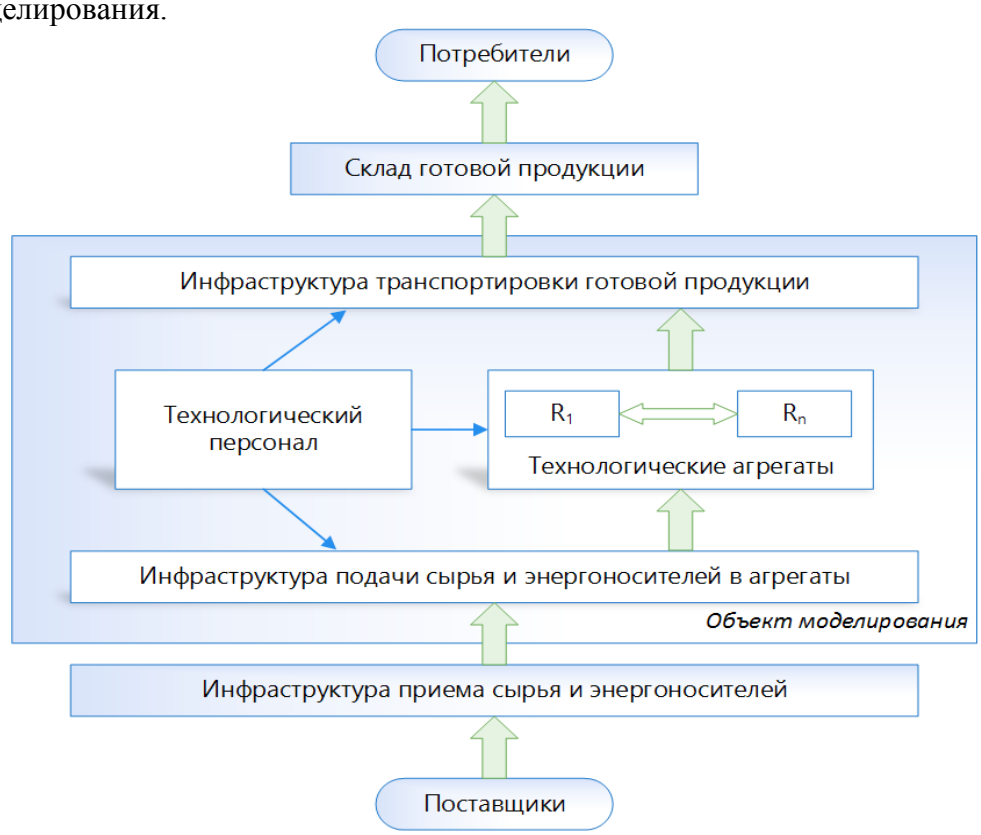


Рис. 1 - Технические элементы технологического комплекса

Разработка математических моделей и алгоритмов. Математические модели глобально делятся на три категории:

- модели, отражающие организационно производственный механизм функционирования технологического комплекса в целом;
- модели, описывающие технологические процессы и работу оборудования;
- модели, выполняющие задачи расчета графических параметров объектов виртуального мира.

Функциональная структура системы моделей показана на рисунке 2.

Кратко рассмотрим назначение основных базовых моделей.

Рис. 2 - Система математических моделей 3D – виртуальной среды

Математические модели и алгоритмы работы технологического комплекса выполняют задачи вычисления необходимого количества сырья, энергетических ресурсов, а так же реализует функции управления и контроля состояния главных агрегатов.

Математические модели и алгоритмы работы оборудования необходимы для описания: работы агрегатов и основного оборудования; работы механизмов и вспомогательного оборудования; действий технологического персонала.

Математические модели технологических процессов в агрегатах описывают: балансы потоков, веществ, элементов и распределение их по фазам; закономерности стадий и периодов технологического процесса; механизмы физико-химических процессов в характерных реакционных зонах.

Структурно модели представляют системы линейных и нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений, которые обоснованы исходя из фундаментальных законов и анализа практик применения такого класса моделей для описания технологических процессов[1,2].

Математические модели и алгоритмы управления графическими объектами осуществляют преобразование параметров моделей объектов в параметры трансформации и отображения 3D-графики. Изменение параметров трансформации осуществляется путем сдвига, масштабирования, поворота или путем управления каждой вершиной объекта в отдельности. Управление параметрами отображения необходимо для изменения цвета, прозрачности, отражения и поглощения света. Реализация алгоритмов осуществляется как уровне центрального процессора, так и на уровне процессора графического контроллера.

Применение координатора взаимодействия моделей и объектов необходимо для синхронизации расчетов, обмена данными между расчетными модулями системы и интерфейсами. Работа координатора строится на основе принципов объектно-ориентированного проектирования программ согласно идеологии паттерну посредник (Mediator)[3].

Проектирование и создание программного обеспечения. Для реализации этого этапа отработана технология в виде следующих этапов: *создание и наполнение сцены; создание*

персонажа; программная реализация глобальной логики, математических моделей и интерфейсов; сборка программного обеспечения; оптимизация задач быстродействия; конечная компиляция.

Практическое приложение рассмотренной технологии моделирования осуществлено при создании 3D – виртуальных сред энерготехнологического комплекса и металлургического цеха. На рисунке 3 приведен вид технологической площадки виртуального металлургического цеха. На рисунке 4 показан вид участка сжигания топлива и утилизации тепла отходящий газов лабораторного энергогенерирующего комплекса.

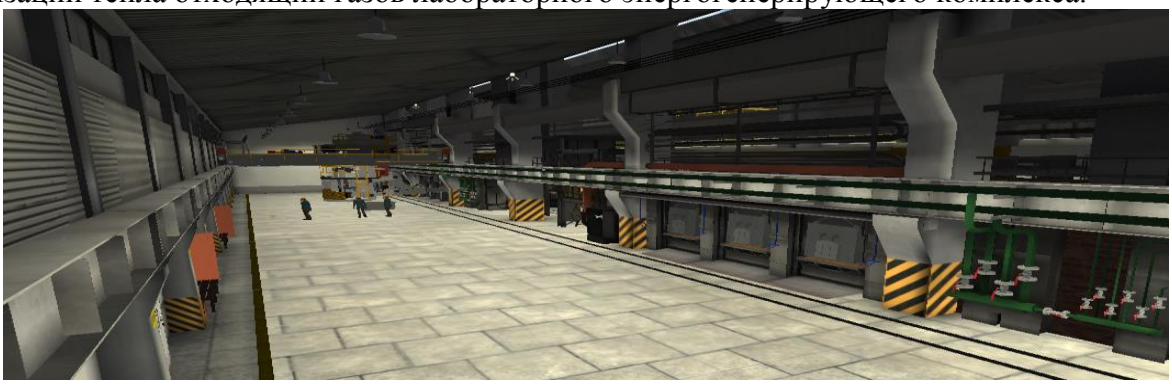


Рис. 3 - Технологическая площадка виртуального металлургического цеха

Рис. 4 - Участок сжигания топлива и утилизации тепла отходящих газов

Список литературы

1. *Федоткин И.М.* Математическое моделирование технологических процессов. –М.: Либроком, 2011. – 416с.
2. *Кузьмин В.В., Схиртладзе А.Г.* Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения. –М.: Высшая школа, 2008. – 280 с.
3. *Мартин Р., Мартин М.* Принципы, паттерны и методики гибкой разработки на языке C#. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2013. – 768 с., ил.

05.11.10

Д.А. Муслимов к.т.н., А.С. Лелюхин к.т.н., М.В. Назаров

Оренбургский государственный университет,
физический факультет, кафедра проектирования и технологии радиоэлектронных средств,
Оренбург, alex-ray@inbox.ru

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА МИНИМИЗАЦИИ НАПРАВЛЕННОГО РАСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРА ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО КРИВОЙ ОСЛАБЛЕНИЯ

В работе описан комплекс программных модулей для системы математического моделирования MathCAD, обеспечивающий восстановление спектра тормозного излучения по экспериментальным и расчетным данным, отражающим характер ослабления тормозного излучения в веществе линейного GaAs – детектора. Приводятся результаты моделирования, иллюстрирующие работу комплекса.

Ключевые слова: *спектр тормозного (рентгеновского) излучения, метод минимизации направленного расхождения, кривая ослабления излучения.*

Проблема восстановления спектрального состава рентгеновского излучения традиционно решается путем использования спектрометрических рентгеновских детекторов. Тем не менее есть ряд задач, где применение спектрометрических детекторов сопряжено со значительными техническими трудностями. Например, при регистрации излучения импульсных источников происходит значительная концентрация энергии во времени и пространстве. В результате к регистрирующей аппаратуре предъявляются требования высокого быстродействия в широком спектральном диапазоне при обеспечении линейности энергетической характеристики и высокой радиационной стойкости. Альтернативным решением является восстановление спектрального состава излучения по кривым ослабления [1, 2]. Однако относительная простота технической реализации схемы измерения здесь сопряжена со значительными вычислительными трудностями, обусловленными необходимостью решения обратной некорректной задачи [3, 4].

Для формирования кривых ослабления традиционно используются ионизационные детекторы и фильтры из высокочистых материалов в форме плоских пластин разной толщины или клина. Кривая ослабления строится по результатам измерений, выполненных для пучков, образующихся при каждой смене фильтра. В работе [5] для регистрации кривых ослабления был применен дискретный линейный рентгеновский GaAs – детектор (линейный детектор), работающий в режиме счета фотонов. В этом случае кривая ослабления формируется «одномоментно» как результат наиболее вероятного распределения квантов излучения, поглощаемых в материале отдельных микродетекторов линейного детектора. Число возможных реализаций процесса абсорбции квантов в веществе детектора определяет энтропию этого процесса и может быть задано уравнением Шеннона. Условие максимума энтропии позволяет сформировать сходящийся итерационный процесс для восстановления распределения квантов по энергии на входе линейного детектора. В литературе данный вычислительный алгоритм поиска исходного распределения известен как метод минимизации направленного расхождения [4, 6]. На практике метод минимизации направленного расхождения применялся для восстановления спектров нейтронов по сигналам с активационных детекторов.

В развитие работы [5] нами был разработан комплекс программных модулей для восстановления спектров излучения рентгеновских трубок с вольфрамовым анодом. Комплекс позволяет по экспериментальным или расчетным кривым ослабления восстанавливать приведенные спектры тормозного излучения методом минимизации

направленного расхождения. В состав комплекса входят: модуль восстановления спектра - X-ray SRT.xmcd; модуль обработки экспериментальных данных - X-ray SRT detector.xmcd; модуль формирования расчетного спектра - X-ray SRT trubka.xmcd; модули расчета коэффициентов ослабления - GaAs tot 300.xmcd , W tot 300.xmcd, Al tot 300.xmcd, TAC.xmcd; файл экспериментальных данных - 110кВ Opera.tiff. Все модули выполнены в среде математического программирования MathCAD 14. Взаимосвязь модулей иллюстрируется рисунком 1.

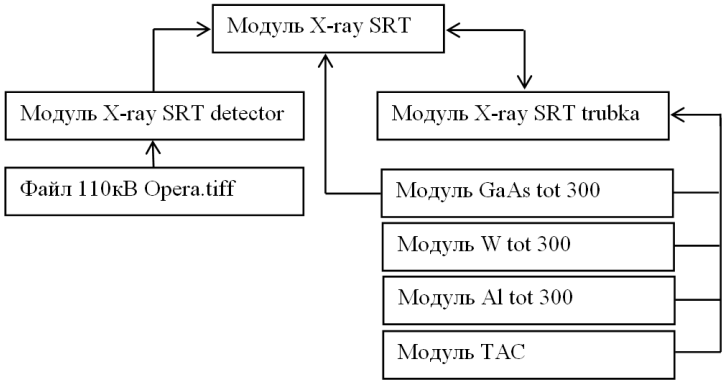


Рис. 1 – Комплекс программных модулей для восстановления спектрального состава тормозного излучения

Модуль X-ray SRT.xmcd является основным исполняемым модулем, остальные модули реализованы в виде самостоятельных подпрограмм, данные из которых запрашиваются в основной модуль. При обращении к модулю X-ray SRT detector.xmcd выполняется восстановление спектра излучения по экспериментальным данным, полученным с детектора в виде графического файла. По умолчанию модуль X-ray SRT detector.xmcd запрашивает файл «заглушку» 110кВ Opera.tiff. При обращении к модулю X-ray SRT trubka.xmcd по заданным исходным данным осуществляется расчет спектра излучения рентгеновской трубки и создается массив данных для формирования кривой ослабления. Модули GaAs tot 300.xmcd, W tot 300.xmcd и Al tot 300.xmcd содержат процедуры аппроксимации табулированных значений коэффициентов массового ослабления рентгеновского излучения в диапазоне 2 – 300 кэВ для арсенида галлия, вольфрама и алюминия соответственно. Модуль TAC.xmcd – является подпрограммой - функцией двух переменных – эффективного атомного номера ослабляющей среды и энергии квантов излучения. Модуль позволяет рассчитывать массовые коэффициенты ослабления для любых материалов в диапазоне до 150 кэВ [7]. Итерационный процесс восстановления спектрального состава излучения реализуется в основном модуле X-ray SRT.xmcd. Подробное описание используемого вычислительного алгоритма изложено в [8].

В основном модуле выбирается массив данных для восстановления спектра, соответствующий экспериментальным или расчетным кривым ослабления и задаются исходные параметры: 1) для расчета кривой ослабления – анодное напряжение, толщина алюминиевого фильтра, фильтрация в материале анода; 2) параметры линейного детектора – плотность материала детектора, толщина микродетекторов, фильтрация по входу детектора; 3) для восстановления спектра – граничная энергия и эквивалентная фильтрация для начального приближения, число микродетекторов в линейном детекторе, шаг дискретизации спектра по энергии.

В качестве примера на рисунке 2 приведены результаты работы программного комплекса при следующих исходных данных: анодное напряжение 110 кВ, эквивалентная фильтрация 0.3 см Al, фильтрация в материале анода 5 мкм W, толщина GaAs – микродетекторов 40 мкм, число микродетекторов в линейке 20, шаг дискретизации по энергии 2 кэВ.

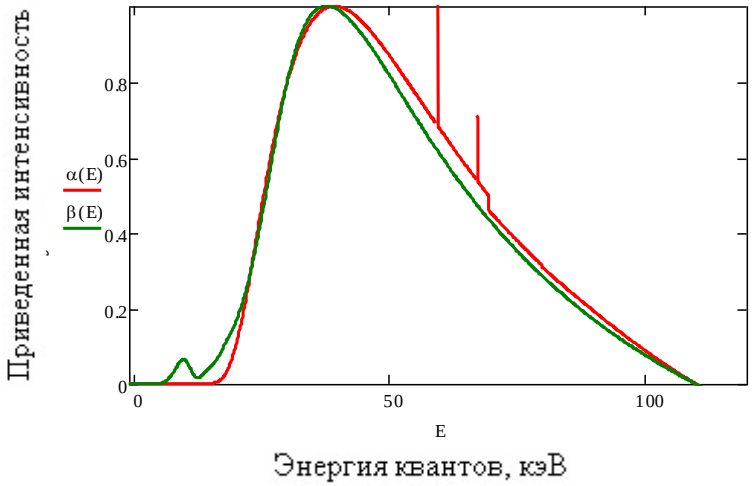


Рис. 2 – Приведенное спектральное распределение излучения рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом: α(E) - расчетный спектр; β(E)- спектр, восстановленный методом минимизации направленного расхождения

В расчетном спектре присутствуют две узкие спектральные линии характеристического излучения вольфрама и просматривается скачок интенсивности, обусловленный фильтрацией излучения в материале анода. Восстановленный спектр сглаживает расчетное распределение на высоких энергиях, при этом максимумы распределений практически совпадают. Кривые ослабления, пересчитанные для полученных спектральных распределений, приведены на рисунке 3.

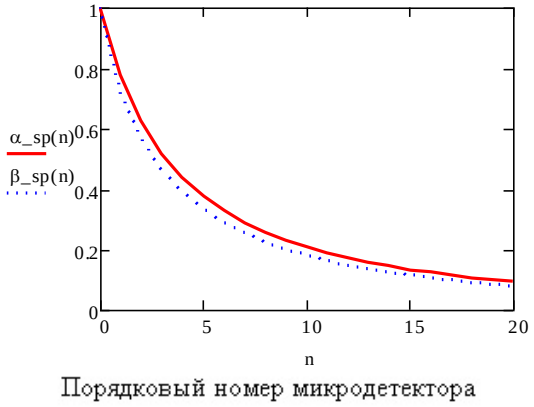


Рис. 3 – Кривые ослабления, сформированные для расчетного и восстановленного спектральных распределений

Описанный комплекс программных модулей позволяет варьировать условия, отвечающие за формирование рентгеновских спектров в широких пределах, в результате появляется возможность оптимизации параметров линейного детектора, используемого для формирования кривых ослабления излучения с целью повышения достоверности восстановления реальных спектральных распределений. Созданная программа может использоваться для решения инженерных и научных задач контроля параметров рентгеновских излучателей.

Список литературы

1. *Yanfei Wanga, Yonghua Dubc and Tiandou Hu* Projected gradient methods for synchrotron radiation spectra distribution function reconstruction // Inverse Problems in Science and Engineering.- Vol. 17, No. 2, March 2009, 175–186
2. *Waggener RG, Blough MM, Terry JA, Chen D, Lee NE, Zhang S, McDavid WD* X-ray spectra estimation using attenuation measurements from 25 kVp to 18 MV. Med Phys. 1999 Jul;26(7):1269-78.
3. *Грешилов А.А.* Некорректные задачи цифровой обработки информации и сигналов. – М.: Университетская книга; Логос, 2009. – 360 с. ISBN 978-5-98704-424-3
4. *Тараско М.З.* «Об одном методе решения линейных систем со стохастическими матрицами» в книге *Теребиж В.Ю.* Введение в статистическую теорию обратных задач. – М., ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 376 с.
5. *Муслимов Д.А., Лелюхин А.С. Гамалей К.А.* Определение практического пикового напряжения по восстановленным спектральным распределениям тормозного излучения // Медицинская техника. – 2011.- №5. – С. 34-39.
6. *Тараско М.З.* Метод минимума направленного расхождения в задачах поиска распределений. Препринт ФЭИ № 1446. Обнинск, 1983, 16с.
7. *Муслимов Д.А., Лелюхин А.С.* "Модуль для расчета сечений взаимодействия квантов рентгеновского излучения с веществом". Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613532 от 28.05.2010. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Россия.
8. *Лелюхин А.С., Муслимов Д.А., Карягин М.А.* Обратная задача восстановления спектральных распределений по кривым абсорбции тормозного излучения // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике. Материалы X всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург, 2012. – С. 273-277. ISBN 978-5-4417-0097-9.

05.22.10

Я.Е. Немирович, И.А. Анисимов

Тюменский государственный нефтегазовый университет, институт транспорта,
кафедра эксплуатации автотранспорта,
Тюмень, yar.650@ya.ru

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

В статье представлены результаты исследования зависимости количества наездов на пешеходов при движении автомобиля по прямой от геометрических параметров расположения пешеходных переходов и предложены пути снижения аварийности на обследованных нерегулируемых пешеходных переходах.

Ключевые слова: *безопасность, ДТП, пешеход, пешеходный переход.*

В Российской Федерации число дорожно-транспортных происшествий в последние годы не только не сокращается, но и продолжает увеличиваться. Решению данной проблемы посвящено множество научных работ, связанных с организацией дорожного движения, конструкцией автомобиля, применением новых материалов в строительстве дорог.

Самым существенным и серьезным последствием ДТП является гибель или ранение людей. Это приводит к полному, частичному или временному выбытию человека из сферы материального производства, что является основной составляющей косвенного ущерба от ДТП и зачастую кратно превышает сумму прямого ущерба.

Повышению уровня аварийности способствуют многие факторы, в том числе возрастающая автомобилизация, отставание темпов развития улично-дорожной сети и, как следствие, увеличение загруженности дорог, в среднем невысокое качество подготовки новых водителей и другие.

По данным УГИБДД МВД РФ по Тюменской области наблюдается рост аварийности на фоне интенсивной автомобилизации и низких темпов строительства и реконструкции дорог. В табл. 1 представлены данные о характеристиках аварийности в г. Тюмени в 2005…2012 гг.

Таблица 1 - Данные о характеристиках аварийности в г. Тюмени в 2005…2012 гг.

Показатели	Численные значения характеристик по годам							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Число ДТП, ед.	1668	1724	1745	1526	1408	1397	1477	1774
Число погибших, чел.	75	95	90	76	63	60	63	68
Число раненых, чел.	2128	2208	2400	2050	1908	1842	1980	2442

Как видно из представленных данных, в 2010…2012 гг. наблюдается тенденция к увеличению уровня автотранспортной аварийности, травматизма и смертности на дорогах г. Тюмени.

По данным МВД РФ существенная часть ДТП с участием пешеходов (65,9%) происходят при прямолинейном движении транспортных средств на перегонах. На рис. 1 приведена диаграмма распределения обстоятельств наезда на пешеходов для РФ в целом.[1]

Для случаев прямолинейного движения автомобиля на перегоне причинами совершения ДТП могут являться высокая скорость, неожиданное для водителя появление пешехода на проезжей части, отсутствие технической возможности предотвращения ДТП водителем.

В целом в структуру механизма наезда на пешехода входят: взаимодействующие элементы системы ВАДС («водитель - автомобиль - дорога - среда»), а также факторы, определяющие взаимосвязь элементов системы ВАДС и обуславливающие наступление

дорожно-транспортного происшествия.

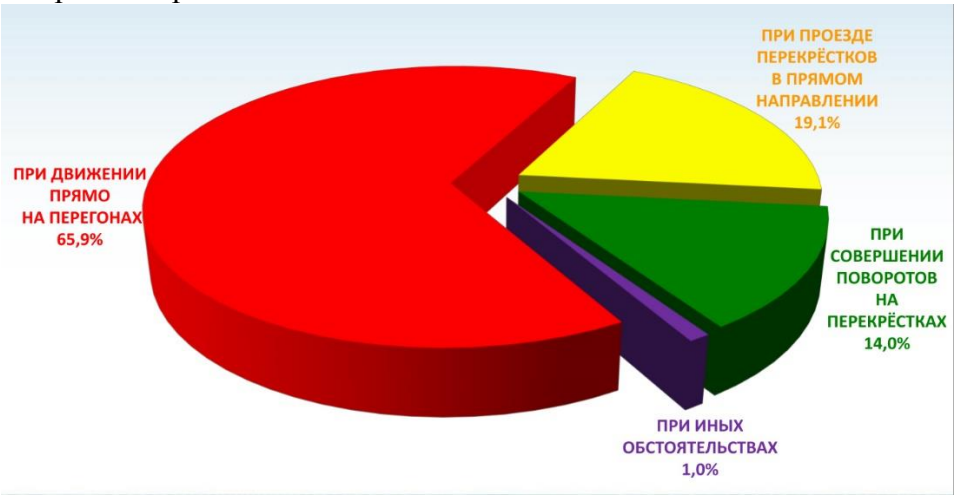


Рис. 1 - Распределение обстоятельств наезда на пешеходов в РФ

На механизм совершения дорожно-транспортного происшествия влияет более 130 параметров системы «водитель - автомобиль - дорога - среда» и уяснение большинства из них часто бывает необходимым для установления истины по делу о ДТП с участием пешехода. [2]

Среди множества параметров системы ВАДС в рамках проводимого исследования выбраны планировочные параметры расположения пешеходных переходов и их влияние на состояние автотранспортной аварийности с участием пешеходов.

Для постановки экспериментального исследования были выбраны 50 пешеходных переходов г. Тюмени, для каждого пешеходного перехода определены его максимальное и минимальное удаление от зон гашения скорости транспортных потоков и условная ширина дороги, характеризующая количество единовременно преодолевающих сечение дороги транспортных средств без необходимости снижения скорости.

В результате математической обработки результатов измерений получена поверхность, характеризующая зависимость числа ДТП от условной ширины проезжей части и наибольшей длины прилегающего перегона (рис. 2). Она выражается следующим образом:

$$N_{\text{ДТП}} = f(S_{\text{П}}; W_{\text{ПЧ}}) = 7 - 0{,}57 * S_{\text{П}} - 3{,}9 * W_{\text{ПЧ}} - 0{,}0005 * S_{\text{П}}^2 + \\ + 0{,}045 * S_{\text{П}} * W_{\text{ПЧ}} + 0{,}27 * W_{\text{ПЧ}}^2 + 3{,}21 * 10^{-7} * S_{\text{П}}^3 - \\ - 8{,}47 * 10^{-5} * S_{\text{П}}^2 * W_{\text{ПЧ}} + 0{,}0002 * S_{\text{П}} * W_{\text{ПЧ}}^2$$

Где: $S_{\text{П}}$ - расстояние до наиболее удаленной зоны гашения скорости
$W_{\text{ПЧ}}$ - условная ширина проезжей части

Проверка адекватности математической модели показала, что коэффициент детерминации имеет значение R = 0,67 при доверительной вероятности 0.95, что говорит о средней точности полученной модели. Среднеквадратическое отклонение σ = 3,6. Значения показателей характеризуют наличие взаимосвязи между исходными данными. Следует заметить, что подобная зависимость ранее не была получена. Основываясь на этих результатах можно сделать вывод о безопасности пешеходного перехода в зависимости от сочетания длины перегона и ширины проезжей части.

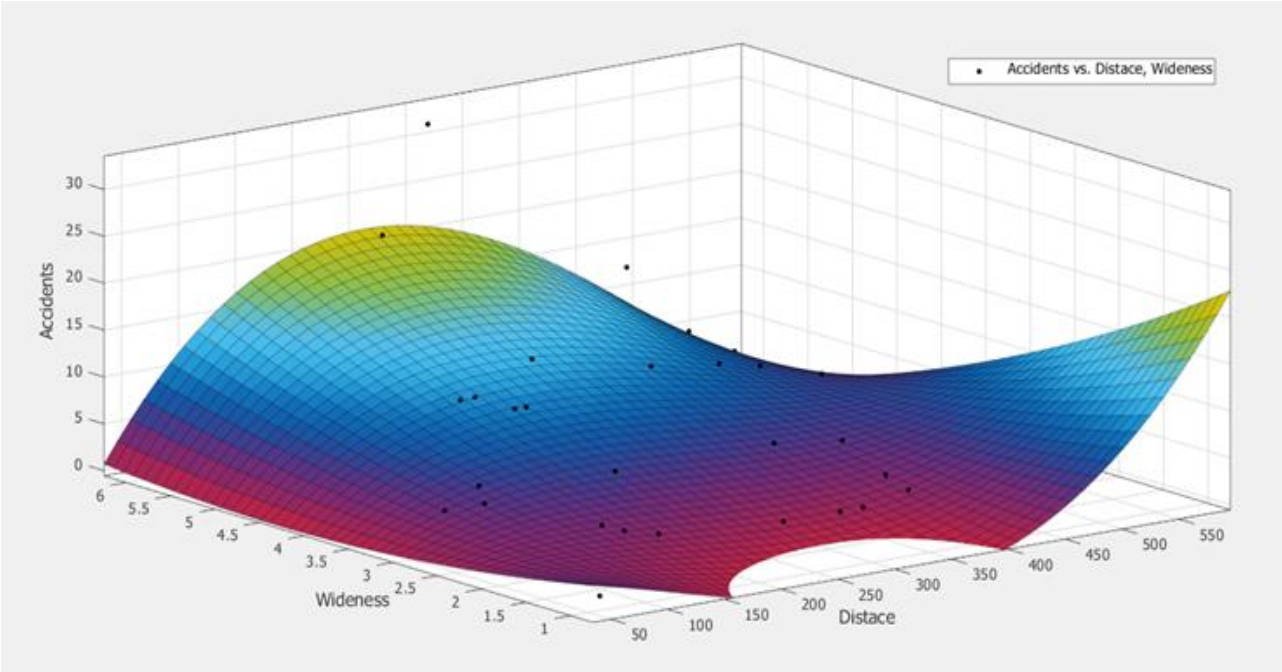


Рис. 3 - Результат обработки данных

Результатом исследования является методика оценки безопасности нерегулируемых пешеходных переходов с точки зрения их расположения относительно других объектов улично-дорожной сети. Применение методики подразумевает определение классов опасности как уже построенных, так и проектируемых пешеходных переходов. Все нерегулируемые пешеходные переходы условно подразделяются на три класса. Далее, в таблице 2 приведены классы опасности пешеходных переходов и рекомендуемые действия по снижению аварийности.

Таблица 2 – Распределение опасности нерегулируемых пешеходных переходов и рекомендуемые действия по снижению аварийности.

Условный класс опасности	Геометрические параметры расположения		Рекомендуемое действие
	$W_{\text{пч}}$	$S_{\text{П}}$, м	
Неопасный	Любая	<100	Подсветка территории пешеходного перехода
Малоопасный	2…3	100…200	Внедрение системы оповещения водителей о наличии пешехода
	4…6	100…150	
Опасный	2…3	> 200	Внедрение светофорного регулирования
	4…6	> 150	

Таким образом решается важная практическая задача по снижению общего количества ДТП и суммарного экономического ущерба от ДТП, что соответствует ключевой цели федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010 - 2015 годы)».

Ущерб от гибели или ранения людей за период 2007…2012 гг. на рассматриваемых в работе объектах составил 1,5 млрд. руб., а аналогичная величина при условии использования

результатов настоящей работы составила 528,3 млн. руб. Разница между величинами составляет 972 млн. руб., а суммарные оценочные затраты на реализацию предложенных решений составят 81,2 млн. руб. Таким образом, величина экономического эффекта составляет 891 млн. руб. или 178 млн. руб. в год. Срок окупаемости проекта в данном случае составляет меньше 6 месяцев.

Результаты экономического расчета показывают, что применение разработанной методики является экономически целесообразным, поскольку вложенные средства приносят существенный экономический эффект в виде снижения потерь от гибели или ранения людей. Следует отметить, что снижение количества летальных исходов наряду с уменьшением прямого и косвенного экономического ущерба оказывает положительный эффект на демографическую обстановку в субъекте РФ, применяющем разработанную методику.

Список литературы

1. МВД РФ – презентация «О наездах на пешеходов на пешеходных переходах в 2012 году, их основных причинах и обстоятельствах»
2. *Фёдоров Г.В., Скачёк Р.В.* «Проблемные аспекты механизма наезда на пешехода», журнал «Криміналістичний вісник» № 2 (18), Киев 2012

05.13.18

М.А. Николаев, А.Г. Юферов

Государственный научный центр Российской Федерации –
Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, ayu@ippe.ru

АЛГОРИТМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВАРИАНТНЫХ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ

Описывается применение техники нумерующих функций для генерации наборов исходных данных и сканирования пространства проектных переменных при выполнении вариантных проектных расчетов.

Ключевые слова: *нумерующие функции, планирование вычислительного эксперимента, вариантные расчёты.*

Одной из задач организации вариантных проектных расчётов является эффективное управление большим объемом исходных и расчетных данных [1]. В работе описываются комбинаторные алгоритмы, предназначенные для генерации последовательности расчетных вариантов с минимизацией объема таблиц исходных данных.

Расчетный анализ проектируемой конструкции обычно не сводится к поиску единственного «оптимального» варианта в пространстве проектных переменных. Как правило, разработчика интересует поведение конструкции при изменении проектных переменных в окрестности некоторой базовой точки [2]. Эта задача параметрического анализа решается методом вариантных расчетов. Традиционно вариантные расчеты являются средством получения наглядной графической зависимости выходных параметров конструкции от единственной проектной переменной при фиксированных значениях прочих переменных. С другой точки зрения, специально организованные вариантные расчёты есть способ оптимизации конструкции методом полного перебора [3].

Выполняя варьирование несколько проектных переменных, расчетчик сталкивается с проблемой организации обозримого представления результатов, поскольку число вариантов растет как произведение $\grave{O} = \ddot{I}_{i=1}^{r} n_i$, где r - число варьируемых проектных переменных, n_i - количество значений, пробегаемых i-й переменной.

Реализация алгоритмов перебора проектных переменных на языках программирования, не содержащих массивов переменной размерности, приводит к необходимости переписывать программу перебора заново при изменении числа переменных или заводить в программе количество циклов в соответствии с предполагаемым максимальным числом варьируемых переменных, скорее всего не используемым в большинстве практических случаев (см., например, [4]). Такой прямолинейный подход делает управляющую программу вариантных расчетов громоздкой и не универсальной.

Избежать программирования с переменным числом циклов можно, применив для организации перебора вариантов алгоритмы построения нумерующих функций [5]. В данной работе рассмотрен ряд алгоритмов управления вариантными расчетами на основе нумерующих функций.

1. Независимое варьирование проектных переменных. Опишем вначале алгоритм перебора вариантов в предположении, что интервал варьирования проектной переменной не зависит от того, какие значения приняли другие переменные. В традиционной практике вариантных проектных расчётов это наиболее типичный случай.

Рассмотрим сканирование r-мерной области проектных переменных D. Область D локализуется путем указания параллелепипеда $p_i^{min} \le p_i \le p_i^{max}$, $i=1,\ldots,r$, и задается (или вычисляется) шаг изменения Δ_i по каждой переменной. Алгоритм запишем так, чтобы переменные с бóльшими номерами изменялись быстрее. Таким образом, переменная p_i будет пробегать все свои значения в интервале $[p_i^{min}, p_i^{max}]$ с шагом Δ_i при фиксированных

значениях переменных $p_1,\ldots,p_{i-1}$. Такое упорядочение означает, в частности, что для получения графической зависимости выходных параметров от некоторой проектной переменной эту переменную следует разместить последней в списке переменных.

Словесное описание алгоритма выглядит следующим образом.

Шаг 0. Начальная установка.

0.1. Присваиваем всем проектным переменным минимальные значения.

0.2. Задаём начальные значения для обеспечения последующей корректной модификации r-й переменной и минимального номера L варьируемой переменной: $p_r=p_r-\Delta_r$, $L=r+1$.

Шаг 1. Задаём минимальный номер варьируемой переменной: $L=L-1$. Это означает, что переменные $p_1.,\ldots, p_{L-1}$,будут фиксированы, пока не завершится перебор вариантов для всех возможных значений переменных $p_L.,\ldots, p_r$. Генерация вариантов завершается при достижении значения $L=0$.

Шаг 2. Задаём текущий номер варьируемой переменной: $i = L$.

Шаг 3. Если i-я переменная не достигла своего максимального значения, то увеличиваем ее: $p_i = p_i + \Delta_i$ и присваиваем минимальные значения переменным $p_{i+1},\ldots,p_r$, иначе переходим на шаг 7. В результате выполнения пункта 3 очередной набор значений проектных переменных сформирован полностью.

Шаг 4. Расчет варианта при текущих значениях проектных переменных.

Шаг 5. Задаём в качестве текущей варьируемой переменной последнюю: $i = r$. Таким образом, после расчета текущего варианта формирование набора значений проектных переменных для следующего варианта всегда начинается с вариации последней переменной.

Шаг 6. Возвращаемся на шаг 3.

Шаг 7. Уменьшаем текущий номер варьируемой переменной: $i = i - 1$.

Шаг 8. Если вариация переменной с полученным на шаге 7 номером допустима, т.е. $i \geq L$, то возвращаемся на шаг 3.

Шаг 9. Возвращаемся на шаг 1.

Данный алгоритм описывает непосредственную генерацию координат точек пространства проектных переменных в процессе вариантных расчетов. Он применим также для предварительного накопления исходных данных в файле или в таблице базы данных. В этом случае шаг 4 состоит в записи вектора проектных переменных в файл.

2. Описание структуры множества проектных вариантов посредством мультииндексов. Геометрия области изменения проектных переменных может быть сколь угодно сложной, если нижняя и верхняя границы интервала изменения i-й переменной зависят от текущих значений переменных $p_1.,\ldots,p_{i-1}$:

$$p_i^{min} = f_i^{н}(p_1.,\ldots,p_{i-1}),\ p_i^{max} = f_i^{в}(p_1.,\ldots,p_{i-1}). \quad (1)$$

Для управления плотностью сканирования пространства проектных переменных аналогичная зависимость предусматривается также для шага варьирования:

$$\Delta_i=\Delta_i(p_1.,\ldots,p_{i-1}). \quad (2)$$

Формальная адаптация сформулированного выше алгоритма к этому общему случаю выполняется просто включением формул (1) и (2) в состав алгоритма. В такой форме представленный алгоритм будет описывать общую схему решения для ряда поисковых методов оптимального проектирования [6]. Однако его эффективная программная реализация потребует введения средств описания порядка вызова модулей, реализующих вычисления по множеству формул (1),(2).

Типизируем зависимости (1),(2) по сложности программной реализации. В простейшем случае, рассмотренном в предыдущем разделе, переменные не связаны друг с другом, и порядок варьирования задаётся произвольно упорядоченным списком переменных. При планировании вычислительного эксперимента множество расчетных вариантов определяется набором констант, - координатами границ параллелепипеда и шагом по каждой переменной, - которые задаются непосредственно расчетчиком, хранятся в файле исходных данных и используются для генерации вариантов по алгоритму, описанному выше.

Второй тип зависимостей определяет характер варьирования *i*-й проектной переменной выражениями (1),(2), вид которых специфичен для каждой переменной, но не зависит от конкретных значений проектных переменных $p_1,\ldots,p_{i-1}$. Другими словами, для расчёта границ и шагов варьирования необходимо *r* программных модулей, причем входными параметрами *i*-го модуля являются проектные переменные $p_1,\ldots,p_{i-1}$, а выходными - границы и шаг варьирования *i*-й проектной переменной.

Наиболее громоздкая система формул (1),(2) возникает в случае, когда их вид зависит от конкретных значений переменных $p_1,\ldots,p_{i-1}$. В таком случае интервал варьирования первой переменной снова определяется тройкой констант, но выражения для границ и шага варьирования второй переменной уже зависят от текущего значения первой. Этот факт отразим дополнительным индексом в обозначениях соответствующих формул:

$$p_2^{min} = f_{j_1}^{\acute{\imath}}(p_1),\quad p_2^{max} = f_{j_1}^{\hat{a}}(p_1),\quad \Delta_2 = \Delta_{j_1}(p_1)$$

означающим, что для задания границ и шага варьирования 2-й проектной переменной берется набор функций, специфический для каждого *j*-го значения 1-й переменной. Значение 1-й переменной является также аргументом этих функций. Аналогично в общем случае правила варьирования *i*-й переменной параметризуются мультииндексом значений всех предшествующих переменных:

$$p_i^{\min} = F_{(j_1,\ldots,\,j_{i-1})}^{\hat{a}}(p_1,\ldots,p_{i-1}),\cdot p_i^{\max} = F_{(j_1,\ldots,j_{i-1})}^{\acute{\imath}}(p_1,\ldots,p_{i-1}),\cdot\Delta_i = \Delta_{(j_1,\ldots,j_{i-1})}(p_1,\ldots,p_{i-1}).$$

Таким образом, для каждой проектной переменной p_i вводится счетчик значений $e_i=1,\ldots,n_i$. Набор значений проектных переменных для очередного варианта расчёта определяется мультииндексом $(e_1,\ldots,\ e_i,\ldots,\ e_r)$, то есть вектором номеров значений, которые должны присутствовать в расчете. Необходимые значения или вычисляются, или выбираются из файла.

Если значения варьируемых проектных переменных вычисляются, то компоненты мультииндекса указывают (нумеруют) формулы или модули, которые должны применяться для вычисления координат текущей точки пространства проектных переменных. Если значения варьируемых проектных переменных берутся из файла, то мультииндекс определяет номер (адрес) записи, содержащей данные для расчета текущего варианта. И в том, и в другом случае необходимо уметь преобразовать вектор мультииндекса в скалярный номер варианта и обратно.

Введением счетчика e_i значений *i*-й переменной обеспечивается взаимно однозначное отображение системы функций (1),(2) на множество мультииндексов $(e_1,\ldots,e_{i-1})$, $i=1,\ldots,r$. Максимальное значение счётчика для *i*-й переменной задаётся некоторой формулой

$$n_i = n_{(e_1,\ldots,e_{i-1})}(e_1,\ldots,e_{i-1}),\overline{i=1,r}, \qquad (3)$$

вид которой определяется мультииндексом $(e_1,\ldots,e_{i-1})$. Этот мультииндекс указывает также на программный модуль, который необходимо использовать для вычисления границ и шага варьирования *i*-й переменной при текущих значениях переменных $p_1,\ldots,p_{i-1}$.

Система зависимостей (1),(2) может быть изображена в форме дерева, из корня которого выходят ветви, соответствующие значениям 1-й переменной, каждая такая ветвь расщепляется на ветви, соответствующие значениям 2-й переменной, и т.д. Строение такого дерева вполне описывается формулами (3), определяющими число ветвей, выходящих из каждого узла дерева. Множество этих формул уместно назвать сигнатурой дерева.

В общем случае для каждого узла может быть задана своя формула, но тогда явное программирование этих формул теряет смысл, поскольку перебор расчетных вариантов проще свести к просмотру предварительно сгенерированной списковой структуры, связывающей значения проектных переменных. В связи с этим возникает вопрос о возможности сопоставления дереву сигнатуры (3) дерева сигнатуры

$$n_i = n_i(e_1,\ldots,e_{i-1}),\cdot\overline{i=1,r}, \qquad (4)$$

то есть о возможности замены множества формул, имеющих специфическое строение для каждого конкретного мультииндекса ($e_1,\ldots,e_{i-1}$), единственной формулой. Это вопрос имеет практическое значение, поскольку такой переход позволяет упростить программирование.

Для решения задачи сопоставления сигнатур (3) и (4) примем во внимание, что лексикографическое упорядочение мультииндексов ($e_1,\ldots,e_{i-1}$) приводит к их сквозной нумерации [5]: $N_i=N(e_1,\ldots,e_{i-1})\in(0,1,\ldots,maxN_i)$. Эта нумерация позволяет преобразовать сигнатурные формулы (3), определяющих количество ветвлений на уровне i-1 дерева проектных вариантов, к форме $n_i = n_{N_i}(N_i), \overline{i=1,r}$ с указанным сквозным номером в качестве аргумента. Соответствующая единственная формула $n_i = n(N_i), \overline{i=1,r}$ вида (4) получается отсюда путём следующей «интерполяции»:

$$n(N_i)=\sum_{j_i=0}^{\max N_i}\delta(j,N_i)\cdot n_{j_i}(j_i),\delta(j,N_i)=\begin{cases}1, j=N_i\\0, j\neq N_i\end{cases},$$

и задача программиста состоит в эффективной реализации этого соотношения. Используя установленную эквивалентность сигнатур (3) и (4) ограничимся далее описанием структуры деревьев проектных вариантов с помощью сигнатур типа (4).

3. Нумерация и генерация мультииндексов с зависимыми компонентами. Алгоритм перебора вариантов, описанный в разделе 1, можно применить для генерации мультииндексов, интервалы изменения компонент которых задаются формулами (4). Генерация выполняется в лексикографической последовательности от мультииндекса ($0_1,0_2,\ldots,0_r$) к мультииндексу ($n_1,n_2,\ldots,n_r$). Начальные значения компонент мультииндекса здесь всегда нулевые, а шаг по каждой компоненте равен единице. При этом номер $N(u)$ мультииндекса $u=(e_1,\ldots,e_i,\ldots,e_r)$ определяется по формуле [5]

$$N(u)=\sum_{i=1}^{r}\sum_{j_i=0}^{e_i-1}\sum_{j_{i+1}=0}^{\nu_{i,i+1}}\ldots\sum_{j_r=0}^{\nu_{i,r}}1, \tag{5}$$

где пределы суммирования

$$\nu_{ik}=-1+n_k(e_1,\ldots,e_{i-1},\ldots,j_i,\ldots,j_{k-1}),k=\overline{i,r}. \tag{6}$$

Отметим, что при описании алгоритмов нумерации различным образом обозначаются текущий фиксированный мультииндекс ($e_1,\ldots,e_{i-1}$) и мультииндекс, компоненты которого варьируются: ($j_i,\ldots,j_{k-1}$).

Формулу (5) можно рассматривать как специфическую запись алгоритма, представленного в первом разделе. Формула определяет номер мультииндекса как число лексикографически предшествующих ему мультииндексов и фактически описывает генерацию этих мультииндексов для заданной сигнатуры (4). Другими словами, она нумерует расчётные варианты, описывая переход от нумерации значений координат к нумерации точек в пространстве проектных переменных. Полное количество точек равно

$$T=\sum_{j_1=0}^{\nu_{11}}\sum_{j_2=0}^{\nu_{12}}\ldots\sum_{j_r=0}^{\nu_{1r}}1,$$

где пределы суммирования определяются формулами (6), записанными для случая i=1, т.е. содержащими в качестве аргументов только переменные: $j_1,\ldots,j_{k-1}:\nu_{1k}=-1+n_k(j_1,\ldots,j_{k-1}),k=\overline{1,r}$. Так, $\nu_{11}=n_1-1,\cdot\nu_{12}=-1+n_2(j_1)$ и т.д. Такой набор из r формул позволяет задать плотность и последовательность сканирования пространства проектных переменных.

Денумерация, - восстановление мультииндекса по его номеру N, - представляет собой процедуру решения уравнения (5) в целых неотрицательных числах и выполняется следующим образом:

$$e_i = \min(a),\ a \in \left\{ a \middle| M_i - D(a) < 0; a = \overline{0, n_i - 1} \right\},\ e_r = M_r. \qquad (7)$$

Вспомогательные функции в выражениях (7) имеют следующий вид:

$$M_1 = N, M_{i+1} = M_i - D_i(e_i - 1), D_i(a) = \sum_{j_i=0}^{a} \sum_{j_{i+1}=0}^{v_{i,i+1}} \ldots \sum_{j_r=0}^{v_{i,r}} 1, i = \overline{1, r-1}.$$

Верхние пределы суммирования описываются здесь формулами (6), в которых вместо аргумента e_{i-1} используется текущее значение параметра a.

На этапе планирования вычислительного эксперимента задаётся количество T расчетных вариантов и порядок варьирования проектных переменных. Затем в цикле по вариантам из номера варианта посредством описанной процедуры денумерации восстанавливается соответствующий мультииндекс, компоненты которого задают адреса или способы вычисления координат очередной точки пространства проектных переменных. При этом массив значений i-й координаты индексируется номером $N(e_1, \ldots, e_i,)$ и хранится в отдельной таблице без дублирования в этой таблице значений остальных координат. Таким путём достигается минимизация совокупного объема таблиц исходных данных.

4. Глобальная оптимизация. Описанные алгоритмы первоначально предназначались для систематизации и упорядочения проектных вариантов. Однако, как показала практика вариантных расчётов, они демонстрируют также хорошие результаты в задаче глобальной оптимизации. Покажем это на примере двух классических «трудных» тестов - функции Розенброка для двух переменных $F(p_1, p_2) = 100(p_2 - p_1^2)^2 + (1 - p_1)^2$ и функции Растригина для трёх переменных $F(p_1, p_2, p_3) = 40 + \sum_{i=1}^{3} \left(p_i^2 - 10\cos(2\pi p_i) \right)$.

Сканирование выполнялось в интервале [-5,5] по каждой переменной с шагом 1 для функции Растригина и с шагом 0.4 для функции Розенброка. Развёртка функции Растригина по 1000 первых точек сканирования изображена на рисунке 1. Как видим, величина глобального минимума точно идентифицируется на фоне локальных минимумов. На рисунке 2 приведена развёртка по первому аргументу, соответствующая порядку точек сканирования на рисунке 1. Вертикальные линии на графике дают интервалы изменения функции при соответствующем значении первого аргумента и варьировании остальных. Координата глобального минимума определяется в данном случае точно. Аналогичная картина получается при развёртке по упорядоченным значениям остальных аргументов.

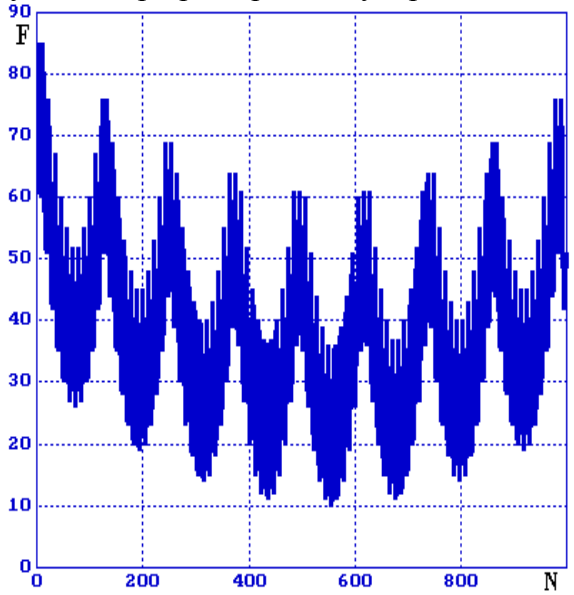


Рис.1. Развёртка функции Растригина по точкам сканирования

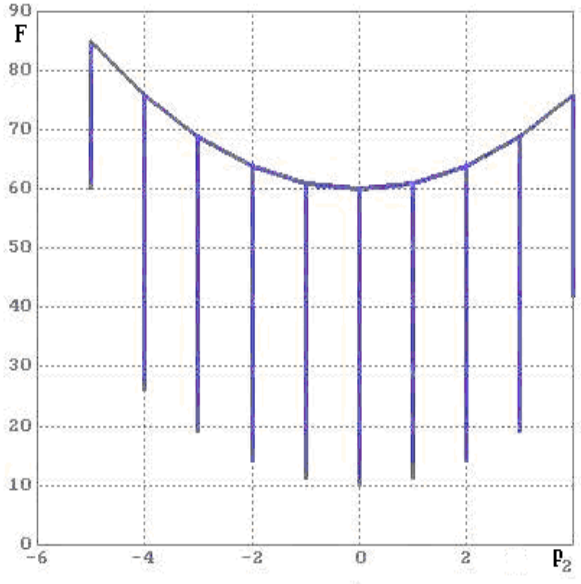


Рис.2. Развёртка функции Растригина по первому аргументу

Развёртка функции Розенброка по точкам сканирования изображена на рисунке 3. (Для наглядности на график выводится линейно преобразованная функция Розенброка $0.01F(p_1,p_2)+5$). На рисунке 4 приведена характерная для функции двух переменных развёртка по второму аргументу. Здесь величина глобального минимума также точно определяется, но поведение графиков указывает на пологость функции в окрестности глобального минимума. Для уточнения координат глобального минимума необходимо повторить сканирование в этой окрестности, которая хорошо локализуется по данным графиков. С прикладной точки зрения обнаруженная пологость целевой функции означает приемлемость технических решений в широкой области изменения проектных переменных в окрестности строго оптимальной точки.

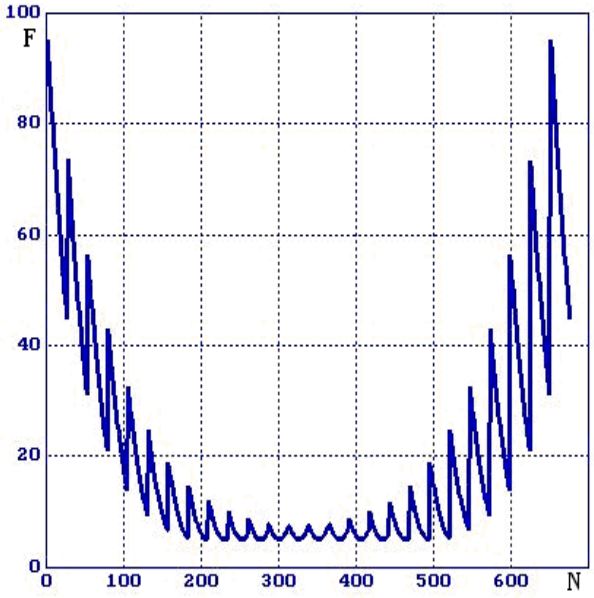


Рис.3. Развёртка функции Розенброка по точкам сканирования

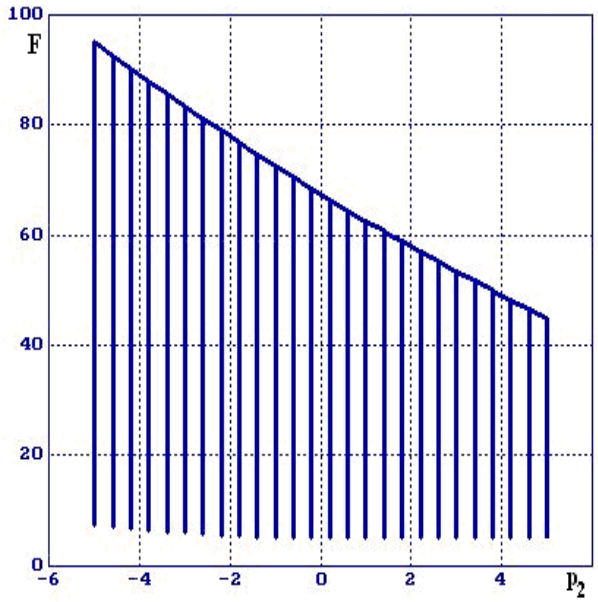


Рис.4. Развёртка функции Розенброка по второму аргументу

Приведенные примеры указывают на потенциальную пригодность предложенных алгоритмов для решения задач глобальной оптимизации, особенно в технических приложениях, где количество проектных переменных относительно невелико.

Список литературы

1. *Козлов Н.И.* Организация вычислительных работ. М.: Наука, 1981. 240с.
2. *Статников И.Н.* О структурировании пространства исследуемых параметров в задачах проектирования машин и механизмов // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2000. № 5. С. 11–17.
3. *Вермишев Ю.Х.* Методы автоматического поиска решений при проектировании сложных технических систем. М.: Радио и связь, 1982. 152с.
4. *Долгов В.Н.* Оптимизация параметров судовых ядерных энергетических установок. Л.: Судостроение, 1980. 272 с.
5. *Юферов А.Г.* Построение нумерующих функционалов на комбинаторных множествах // Кибернетика. 1980. № 5. С. 28-32.
6. *Батищев Д.И.* Поисковые методы оптимального проектирования. М.: Советское радио, 1975. 216 с.

05.13.06

А.А. Орлов д.т.н., А.В. Астафьев

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», кафедра физики и прикладной математики,
г. Муром, AlexeyAlexOrlov@gmail.com, Alexandr.Astafiev@mail.ru

МЕТОД ОБЪЕДИНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ СИМВОЛЬНЫХ МАРКИРОВОК

В статье показана актуальность разработки метода объединения результатов алгоритмов цифровой локализации символьных маркировок. Представлен обзор методов нанесения символьных маркировок в условиях реального производства. Разработана математическая модель изображения символьной маркировки. Спроектирована общая структура результатов работы алгоритмов локализации. Разработан метод объединения результатов алгоритмов цифровой локализации символьных маркировок. Проведены экспериментальные исследования, подтвердившие адекватность разработанной модели и метода объединения результатов алгоритмов цифровой локализации символьных маркировок.

Введение

В современном мире автоматизации, делается попытка заменить человеческий труд машинным везде, где это возможно. И наблюдательная способность человека не исключение. Эта задача решается сейчас многими разработчиками, и некоторые достигли значительного успеха. Однако до сих пор не существует универсального метода идентификации разнородных объектов на цифровых изображениях, поэтому практически все разработанные алгоритмы и методы нацелены на решение узкого ряда задач. Именно поэтому разработке алгоритмов обработки цифровых изображений, а, в частности идентификации и локализации, уделяется столь пристальное внимание.

С целью упрощения разработки алгоритмов идентификации и локализации, разработчики используют специальные идентификационные маркировки. Маркировки могут иметь характерную форму, цвет, символьную информацию и т.д. Использование данного подхода помогает более точно определить эталонное изображение и более точно идентифицировать его положение на цифровом изображении.

Целью исследования является разработка и внедрение методики объединения результатов алгоритмов цифровой локализации символьных маркировок для повышения точности получаемых результатов.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Создание математической модели цифрового изображения с маркировкой.
2. Разработка метода объединения результатов локализации.
3. Экспериментальные исследования разработанной методики объединения результатов алгоритмов цифровой локализации символьных маркировок.

Математическая модель изображения маркировки

Для разработки новых методов и алгоритмов обработки изображений необходимо опираться на модель изображения, то есть его описание в терминах рассматриваемого теоретического подхода. Эффективность созданных методов и алгоритмов зависит от адекватности модели, описывающей изображение.

Для решения этой задачи следует рассмотреть основные информативные признаки промышленных маркеров и рассмотреть возможные пути совершенствования существующих методов и алгоритмов локализации для повышения их эффективности.

Под информативными признаками области промышленного маркера подразумевается набор формализованных (числовых) характеристик именно для данного объекта. Для целей локализации необходимо определить перечень таких информативных признаков, использование которых позволит установить факт принадлежности.

Область промышленного маркера можно охарактеризовать следующим набором признаков:

1. Высокая контрастность изображения. Контрастность - отношение яркостей самой светлой и самой тёмной частей изображения. Контрастность изображения выражается положительной, ненулевой, безразмерной величиной.
2. Размер области маркера. Каждый промышленный маркер создаётся исходя из определённых правил. Каждый маркер, применяемый в производстве, имеет собственный размер. Этот размер выражается в мерах длины, например, в сантиметрах, длине дуги и т.д. Зачастую, размерами служат высота (H) и длина (L) маркера.
3. Соотношение сторон. В случае рассмотрения прямоугольных промышленных маркеров важную роль играет признак соотношения сторон, который рассчитывается как отношение высоты к ширине. Соотношение сторон выражается положительной, ненулевой, безразмерной величиной.
4. Форма области. Форма области – один из признаков промышленного маркера, позволяющий описать локализируемый объект геометрически.
5. Цветовые параметры области. Правил формирования промышленных маркеров регламентирую цвета, используемые при его создании. Таким образом, каждый маркер имеет в своём составе как минимум 2 цвета.

Формально модель можно представить в виде следующего рисунка (Рисунок 1):

Рисунок 1 – графическое представление математической модели

Говоря языком математических терминов, можно представить математическую модель в виде совокупности следующих параметров:

$$M = <C,H,L,A,F,Cl>,$$

где C – Контрастность, H – высота, L – длина, A – соотношение сторон, F – форма, Cl – цвет.

Разработка метода объединения результатов локализации

Разработка методики объединения результатов локализации основана на объединении матриц принадлежности соответствующих методов цифровой локализации производственных маркеров на цифровых изображениях.

Согласно теории вероятности, вероятность появления хотя бы одного из двух совместных событий равна сумме вероятностей этих событий. Таким образом, объединение матриц вероятностей целесообразно определить по формуле:

$$R_{i,j} = A1_{i,j} + A2_{i,j} + \cdots + An_{i,j},$$

где R – результирующая матрица принадлежности, A1, A2, …, An – матрицы принадлежности методов локализации, i –ширина цифрового изображения, j - высота цифрового изображения.

В результате вычисления получается матрица принадлежности, которая учитывает результаты локализации всех используемых методов.

С целью увеличения гибкости работы методики предлагается ввести коэффициент достоверности локализации для каждого используемого метода. Исходя из того, что все методы разработаны для работы в определённых условиях, достоверность результатов может варьироваться в зависимости от конкретной ситуации. Для того, чтобы учесть влияние этого фактора для каждого метода локализации необходимо определить коэффициент достоверности, который будет определять насколько данный метод подходит под конкретную ситуацию.

Исчисление коэффициента достоверности предлагается производить экспериментально в диапазоне от 0 до 1, где 1 – достоверность 100%, а 0 – 0%.

Для интеграции коэффициента достоверности в методику объединения результатов локализации предлагается использовать следующую формулу:

$$R_{i,j} = \frac{A1_{i,j} * k1 + A2_{i,j} * k2 + \cdots + An_{i,j} * kn}{k1 + k2 + \cdots + kn}$$

где R – результирующая матрица принадлежности, A1, A2, …, An – матрицы принадлежности методов локализации, k1, k2, …, kn – соответствующие коэффициенты достоверности используемых методов, i –ширина цифрового изображения, j - высота цифрового изображения.

Экспериментальные исследования разработанной методики объединения результатов алгоритмов цифровой локализации символьных маркировок

Для проведения тестирования методики объединения результатов алгоритмов цифровой локализации символьных маркировок были выбраны следующие алгоритмы: алгоритм локализации производственных маркировок, основанный на поиске всплесков яркости [1]; алгоритм локализации производственных маркировок с использованием анализа цветовых данных и теории нечётких множеств [2].

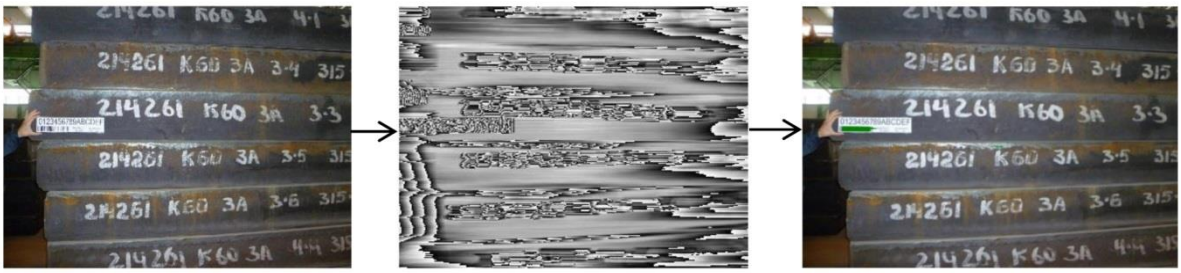


Рисунок 2 – тест разработанной методики

В результате тестирования разработанной методики можно сделать вывод, что совместное использование различных алгоритмов позволяет более точно локализовать необходимую символьную метку, чем использование этих методов по-отдельности.

Заключение

Рассмотренные алгоритмы успешно используются для решения различных задач распознавания образов. Разработанная методика позволила соединить положительные качества каждого из представленных методов путём объединения результатов их работы, а также скорректировать недостатки, проявляющиеся в частных случаях, путём использования соответствующих коэффициентов достоверности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-07-00845.

Список литературы

1. *Орлов А.А., Астафьев А.В.* Реализация и применение алгоритма цифровой локализации изображений символьных меток на основе анализа скорости изменения яркости // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6;

2. *Орлов А.А., Астафьев А.В., Провоторов А.В.* Разработка алгоритма локализации производственных маркировок с использованием анализа цветовых данных и теории нечётких множеств на цифровых изображениях // Искусственный интеллект. – 2013.

05.13.18

Е.В. Равковская, В.О. Каледин д.т.н.

Новокузнецкий институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет», факультет информационных технологий, кафедра математики и математического моделирования, г. Новокузнецк, elenrav@mail.ru, vkaled@mail.ru

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЛОКОНАНИЗОГРИДНОЙ СЕТЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ

В работе обосновывается выбор идеализации расчетной области в виде совокупности однородного связующего и системы армирующих волокон, которые работают на растяжение и сжатие. Представлены результаты двухфакторного вычислительного эксперимента для оценки степени влияния физических размеров анизогридной сетчатой конструкции. Были проведены оценки степени влияния искривления волокна и толщины монослоя на напряжения, возникающие в конструкции, дана оценка степени влияния асимметриии и объемного содержания волокна на микроструктурные напряжения.

Ключевые слова: *анизогридные сетчатые конструкции, метод конечных элементов, композитные материалы, микроструктурные напряжения.*

Сетчатая конструкция представляет собой цилиндрическую или коническую оболочку, состоящую из системы спиральных и кольцевых ребер. Сетчатые композиционные конструкции получили распространение благодаря высоким прочностным свойствам, малой массе и нечувствительности к погрешностям изготовления. Однако представляется возможным дальнейшее снижение массы подобных конструкций при сохранении прочности, жесткости и устойчивости, которое может быть достигнуто за счет усложнения их конструкций и технологий производства. Для уменьшения массы проектируемых конструкций необходимо иметь адекватные оценки параметров напряженно-деформированного состояния и коэффициента запаса прочности. Поэтому представляется актуальной оценка параметров напряженно-деформированного состояния в зонах пересечения спиральных и кольцевых ребер.

Напряженно-деформированное состояние структурных элементов анизогридной конструкции необходимо рассматривать в рамках пространственной модели. Данная конструкция имеет симметричную структуру, поэтому для исследования возьмем область пересечения одного кольцевого и одного спирального ребер.

Расчетную модель будем строить на основе представления материала конструкции как слоистой линейно упругой среды.

Расчеты произведены в программном комплексе «Композит НК» [1,3].

Материал для всех элементов выбран одинаковый, а углы армирования для разных слоёв конечных элементов будем задавать различными: нечетные слои соответствуют кольцевому ребру, поэтом углы армирования в шестигранных конечных элементах будут совпадать с направлением оси X, тогда как четные слои будут иметь угол армирования, равный углу наклона спирального ребра к кольцевому.

Рассмотрим модель со следующими параметрами: длина ребер 50 мм, ширина 5 мм, толщина 5 мм. К кольцевому ребру приложим растягивающую силу в 10 кг.

Как видно из рис.1, в узлах пересечения кольцевого и спирального ребра возникает скачок напряжений, который растёт при сгущении сетки. Такое поведение численного решения характерно для сингулярных точек. Известно, что сингулярность может возникать в точках пересечения свободной поверхности и поверхности контакта слоев [2]. Однако эта

особенность в решении линейно упругой задачи представляется вытекающей из идеализации расчетной модели и не отражает физику деформирования микронеоднородной среды. В действительности между рядами волокон различного направления имеется слой связующего, и фактически осредненные модули упругости слоев изменяются непрерывно на расстоянии, равном толщине этого слоя. Поэтому целесообразно строить расчетную модель не на основе представления материала конструкции как слоистой линейно упругой среды, а явно учесть структурную микронеоднородность на уровне «волокно-матрица».

Представляется оправданной идеализация расчетной области в виде совокупности однородного связующего и системы армирующих волокон, которые работают на растяжение и сжатие. Это позволяет явным образом учитывать распределение волокон в материале вдоль проектных траекторий армирования и анализировать влияние отклонений траекторий армирования и неравномерности распределения волокон по сечению ребра на напряжения в связующем и волокне.

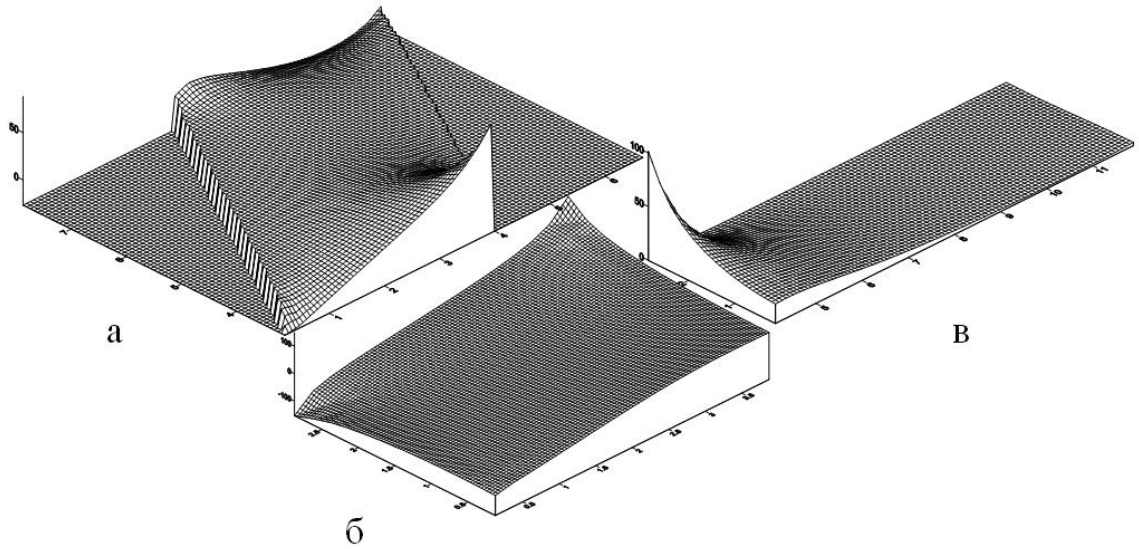


Рис.1 - Поле напряжений в кольцевом ребре (а), в области пересечения кольцевого и спирального ребер (б) и в спиральном ребре (в)

Представим однонаправлено армированный материал в виде связующего и включенных в него стержней, которые деформируются совместно со связующим. При этом объемная доля стержней в модельном материале равна объемной доле волокон в реальном композите. Будем считать, что связь волокон и связующего идеальна, волокно и матрица линейно упруги. Для матрицы будут справедливы рассмотренные выше соотношения. В элементах волокна учитываются только напряжения растяжения-сжатия.

Тогда слоистый материал можно представить как область, заполненную связующим, в котором находятся стержни, имеющие различное направление в разных слоях материала. Конечно-элементная модель состоит из пространственных элементов связующего, таких же по форме, как было рассмотрено выше, и стержневых элементов, имеющих общие узлы с элементами связующего.

Вычислим в пакетном комплексе «Композит НК» напряжения при данном представлении анизогридной сетчатой конструкции при растягивающей силе, приложенной к кольцевому ребру. Напряжения в связующем в десятки раз меньше напряжений в волокнах, поэтому в дальнейшем будем рассматривать только напряжения, возникающие в волокнах.

Заметим, что напряжения в волокнах кольцевого ребра, к которому приложена нагрузка, практически постоянны. В волокнах спирального ребра при рассмотренном виде нагружения напряжения близки к нулю.

Модель, явно учитывающая структурную неоднородность, не обнаруживает сингулярности напряжений в точке пересечения поверхности ребер и поэтому более адекватна, чем модель слоистой анизотропной среды. На её основе было проведено

исследование влияния отклонения параметров армирования от проектных на напряженно-деформированное состояние.

При изготовлении анизогридной сетчатой конструкции волокна могут искривляться в области пересечения кольцевого и спирального ребер. Для оценки степени влияния данного отклонения траектории армирования исследуем напряжения, возникающие в волокнах, при варьировании толщины слоя и отклонения волокна. В качестве параметра, характеризующего искривление, примем наибольшее расстояние, на которое волокно отклоняется от проектной прямолинейной траектории армирования. Двухфакторный вычислительный эксперимент проведен при отклонении волокна 0,5, 1, 1,5, 2 мм, при толщине ребер 3,333, 5, 6,667, 8,333 мм. Модель состояла из восьми слоев, из которых по четыре слоя были армированы в каждом направлении: нечетные слои армированы в кольцевом направлении, четные – в спиральном. Результаты расчета при растяжении кольцевого ребра представлены на рис. 2.

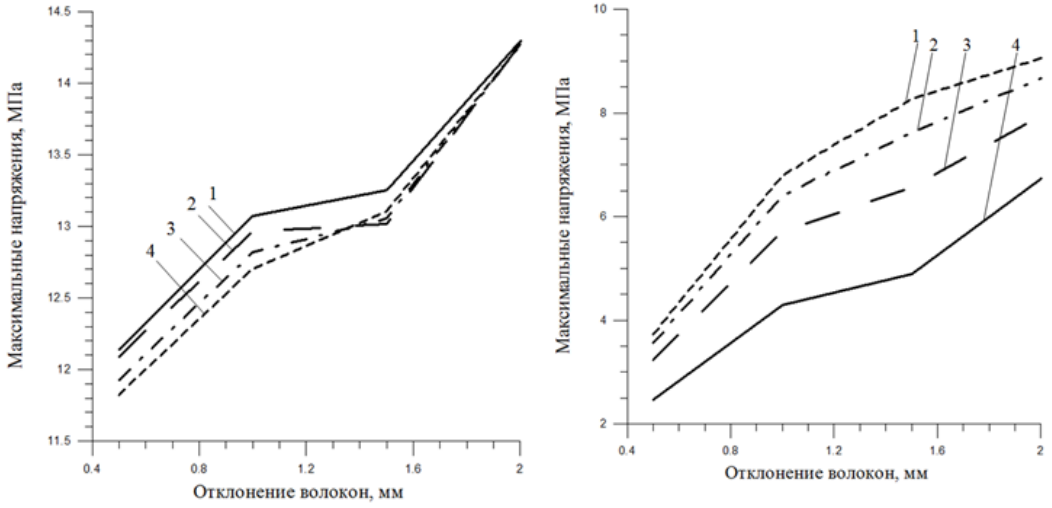


Рис.2 – Зависимость максимальных напряженийв кольцевом (а) и в спиральном (б) ребре от отклонения волокна и толщины ребра: 1 – 3,333 мм, 2 – 5 мм, 3 – 6,667 мм, 4 – 8,333 мм при растягивающей силе

Аналогичные вычисления были проведены при сжатии спирального ребра. Результаты представлены на рис. 3.

С ростом отклонения волокна максимальные напряжения в кольцевом ребре растут, начиная с отклонения 0,5 мм, и достигают 85% увеличения в растянутом ребре при отклонении 2 мм. В спиральном ребре напряжения увеличиваются при данном отклонении до 40% от напряжений в волокнах растянутого ребра.

При сжатии спирального ребра изменение толщины слоя существенно лишь при небольшом искривлении волокна. Чем толще монослой, тем меньшие напряжения возникают в волокнах. С ростом траектории аримирования максимальные напряжения растут при росте толщины слоя.

Распределение волокон в сечении монослоя может быть неравномерным. Причиной этого является проектное отклонение оси ребра от геодезической линии. Так, кольцевые ребра не являются геодезическими, и при их формировании непрерывной намоткой натяжение волокна приводит к смещению волокон в сторону меньшего радиуса конуса.

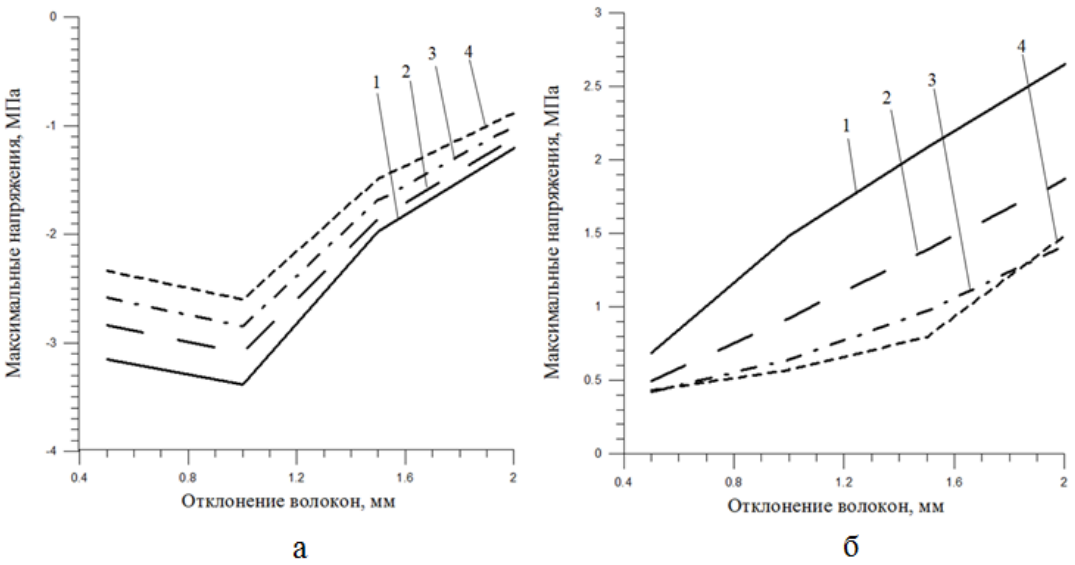


Рис.3 – Зависимость максимальных напряжений в кольцевом ребре (а) и в спиральном ребре (б) от отклонения волокна и толщины ребра: 1 – 3,333 мм, 2 – 5 мм, 3 – 6,667 мм, 4 – 8,333 мм при сжимающей силе

Чтобы промоделировать влияние этого эффекта на микроструктурные напряжения, рассмотрим частные случаи распределения волокон в слое: равномерное (объемное содержание волокна постоянно по всему сечению монослоя), линейное (объемное содержание линейно изменяется от одной боковой кромки до другой) и одностороннее (все волокна распределены на одной половине сечения монослоя). В расчетной модели это отражается изменением площадей сечения волокон: в первом случае все волокна имеют одинаковые площади сечения, во втором площади меняются по закону арифметической прогрессии, в третьем волокна смещены на одну половину сечения. При этом суммарное объемное содержание волокон в монослое остается постоянным. Несимметрия характеризуется координатой центра тяжести распределения площадей волокон по ширине ребра, равной в этих трех случаях 0,5 для равномерного распределения волокон, 0,33 для переменного и 0,25 для одностороннего.

Двухфакторный вычислительный эксперимент проведен при растяжении кольцевого ребра. Варьировалась асимметрия армирования (в трех указанных видах) и объемное содержание волокон 20, 40, 60 и 80 процентов. Результаты приведены на рис.4.

Напряжения в волокнах кольцевого ребра при всех рассмотренных выше распределениях волокон обратно пропорциональны процентному содержанию волокна в слое.

Для спиральных ребер при равномерном распределении волокон по слою напряжения не значительно зависят от объемного содержания волокон. При остальных видах распределения волокна по монослою увеличение напряжений максимально при объемном содержании волокон порядка 20% и в дальнейшем уменьшается в 4 раза.

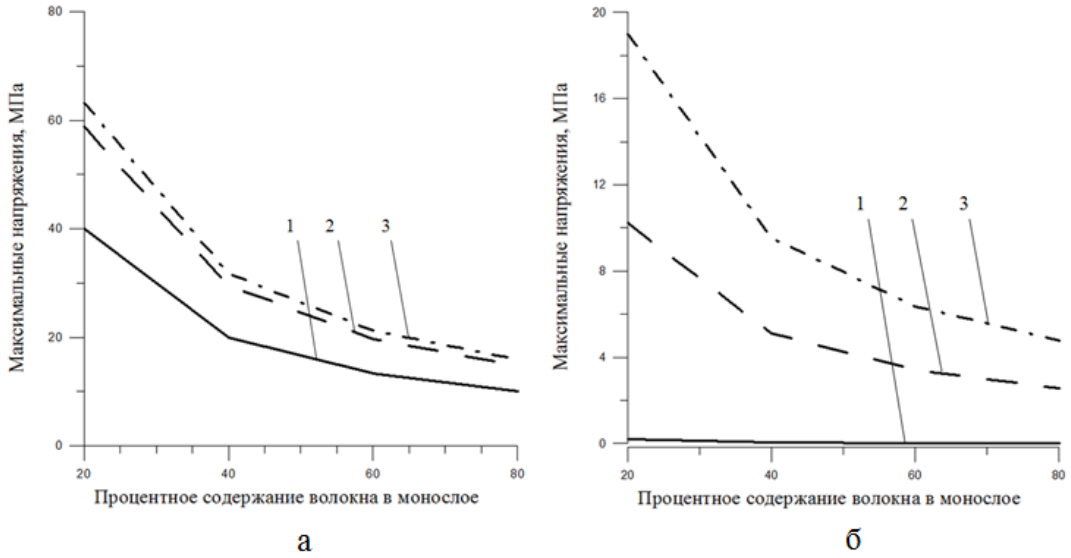


Рис.4 – Зависимость максимальных напряжений в кольцевом (а) и спиральном (б) ребре от процентного содержания волокон в монослое при: 1 – одностороннем, 2 – переменном, 3 – равномерном распределении волокон в монослое

Полученные результаты показывают, что разработанная методика анализа влияния технологических отклонений может быть использована для регламентации технологических допусков на точность траекторий армирования.

Список литературы

1. *Каледин В.О.* Применение объектной декомпозиции математических моделей при разработке программного комплекса / В.О. Каледин, Е.В. Решетникова, Н.В. Нагайцева, Е.В. Равковская //В мире научных открытий. – 2013. – №10(46)– С. 121-141.

2. *Матвеенко В.П., Накарякова Т.О., Севодина Н.В.* Численный анализ сингулярности напряжений в двумерных и трехмерных задачах теории упругости //Материалы XV Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2007), 25-31 мая 2007г., Алушта. – М.: Вузовская книга, 2007. - С.372-373.

3. *Миткевич А.Б.* Среда визуального формирования исходной модели для конечно-элементных расчетов / А.Б. Миткевич, В.О. Каледин, Вл.О. Каледин, А.Ю.Марченко // Информационные технологии и программирование. Вып.1(10). Часть 2. – М.: Московский государственный индустриальный университет, 2004. – С. 27-30.

05.13.01

М.А. Ромашкин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
химико-технологический факультет, кафедра машины и аппараты производственных процессов, ООО «УралПромБезопасность»,
Пермь, t_romash_63@mail.ru

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье представлены результаты разработки информационной модели для информационной поддержки поршневого компрессорного оборудования, указаны требования и характеристики, которым должна удовлетворять модель. Модель может быть использована для решения задач различных этапов жизненного цикла компрессора. Использование модели позволит создать предпосылки для непрерывной информационной поддержки поршневых компрессоров.

Ключевые слова: *информационная модель, поршневой компрессор, информационная поддержка, техническое обслуживание*.

Динамическое оборудование (ДО) и в частности поршневые компрессоры (ПК) является одним из наиболее сложных и энергоёмких видов технических устройств, функционирование которых в значительной степени определяет эффективность и безопасность эксплуатации предприятий химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности. В условиях производства безотказная работа ПК обеспечивается системой технического обслуживания (ТО), качество которой во многом зависит от уровня информационной поддержки (ИП) – процесса снабжения персонала данными, информацией и знаниями, облегчающими принятие ими эффективных решений. ИП включает большое количество регламентированных работ, например, для ПК можно выделить следующие работы:

- ведение технического паспорта;
- обработка результатов микрометрических измерений и вибродиагностики;
- проведение экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ), включая расчёты: частот пульсаций потока, скорости звука в рабочей среде, объёма буферных ёмкостей и собственных частот колебаний трубопроводов компрессорной обвязки;
- прогнозирование остаточного ресурса;
- формирование отчётов по отдельному компрессору, технологической установке и производству.

Перечисленные работы требуют квалифицированных исполнителей, значительных затрат материальных ресурсов, сил и времени, что в условиях производства не всегда имеется в наличии. По причине названных обстоятельств качество ИП во многих случаях бывает недостаточным для адекватной оценки технического состояния оборудования, что в конечном итоге отрицательно сказывается на эффективности и безопасности эксплуатации всего производственного предприятия. Анализ опыта эксплуатации и ТО компрессорного оборудования показал, что наиболее эффективно задачи ИП могут быть решены с помощью программного продукта созданного на основе комплексного учёта всех видов работ. В настоящей статье приводятся результаты первого этапа создания такого программного продукта, а именно – разработки информационной модели (ИМ) ПК, являющегося одним из наиболее распространённых видов ДО.

В ходе изучения условий эксплуатации и ТО поршневых компрессорных агрегатов, а также в результате проработки большого количества паспортно-технической, нормативно-

технической и эксплуатационной документации был составлен ряд необходимых требований к модели. В соответствии с этими требованиями модель должна содержать:

- структуру производственного предприятия с отображением в ней места компрессорного оборудования;
- паспортно-технические данные по компрессору и вспомогательному оборудованию (электродвигатели, буферные ёмкости, трубопроводы обвязки, холодильники и сепараторы);
- данные по составу рабочей среды;
- данные по персоналу, ответственному за безопасную эксплуатацию компрессора и вспомогательного оборудования;
- результаты технических обследований (включая микрометрию и вибродиагностику);
- данные для выполнения расчётов по ЭПБ и их результаты;
- данные для автоматизированного формирования необходимых при эксплуатации и ТО документов.

Модель также должна обладать следующими характеристиками:

- быть объектно-структурированной;
- отдавать приоритет функциям ТО компрессоров на этапе эксплуатации;
- описывать компрессор с достаточным для адекватной оценки технического состояния уровнем детализации;
- вписываться в структуру модели используемого на предприятии программного обеспечения для ИП других типов оборудования,
- иметь возможность развития и добавления новых видов оборудования по возможности без изменения существующей структуры.

Разработка ИМ производилась на основе источников [1-8]. В качестве основы была выбрана модель автоматизированной системы «Трубопровод» [9, 10], которая более 5 лет успешно эксплуатируется на ряде предприятий Западного Урала. Результаты разработки с учётом изложенных выше требований и характеристик приведены на рис.1-4.

Рис.1 отражает место компрессоров в структуре отдельного производственного предприятия.

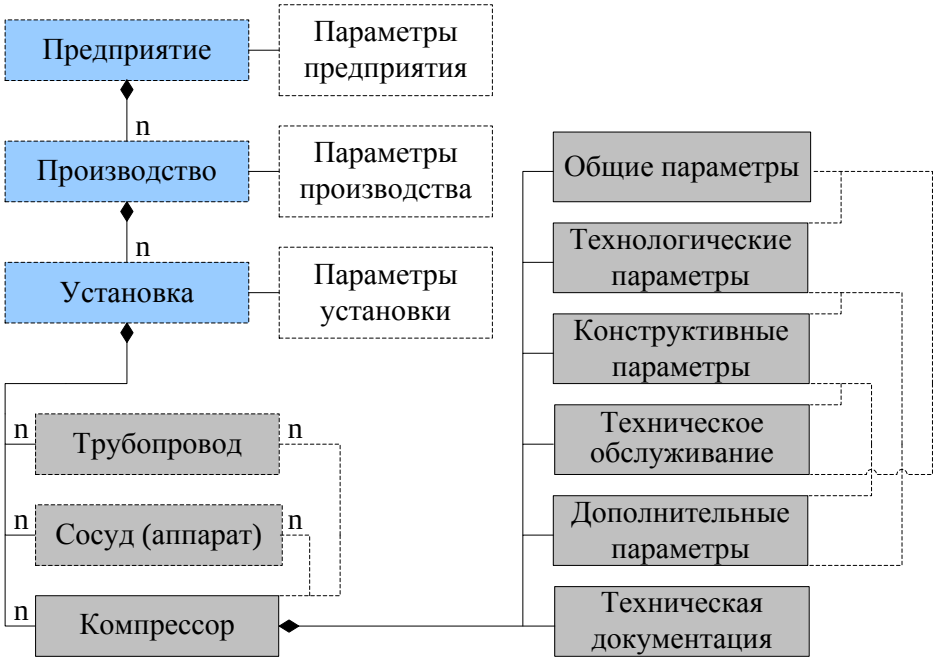


Рис.1– Место компрессорного оборудования в структуре предприятия

Компрессорное оборудование дополняет базовую модель, с наследованием её связей и параметров. Между компрессорами, трубопроводами и сосудами имеются ссылки, что обеспечивает связь оборудования, входящего в один компрессорный агрегат. Все параметры компрессора сведены в 6 записей: «Общие параметры», «Технологические параметры»,

«Конструктивные параметры», «Техническое обслуживание», «Дополнительные параметры», «Техническая документация» (рис.1).

На рис.2 представлена запись «Общие параметры», которая включает данные, являющиеся унифицированными для всех типов ДО. Здесь же приведены сегменты данных, объединяющие параметры элементов и систем, входящих в один компрессорный агрегат (крепёжный узел, система охлаждения, система смазки, рама, привод, узел соединения).

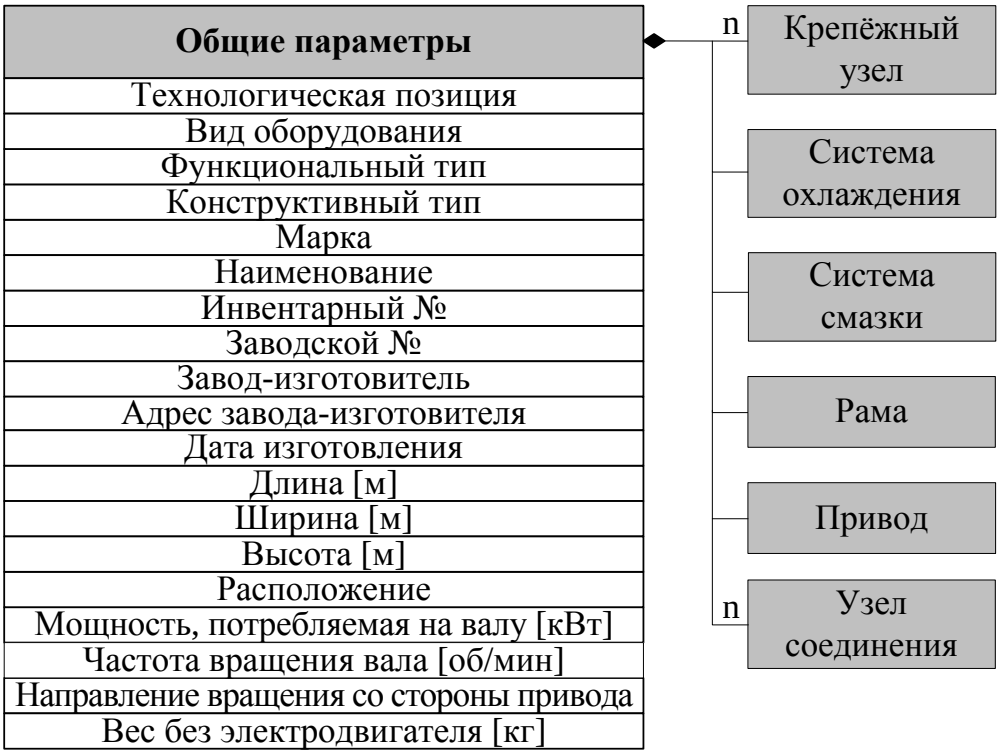


Рис.2 – Общие параметры динамического оборудования

Рис.3 иллюстрирует данные, сведённые в запись «Технологические параметры». Структура записи учитывает условия работы, при которых ПК одновременно перекачивает несколько различных рабочих сред. Область компрессора, перекачивающая одну рабочую среду («Поток») вынесена на верхний уровень структуры записи. «Поток» может включать несколько ступеней сжатия и несколько технологических режимов с различными параметрами рабочей среды. Вещественный состав среды представлен сегментом данных «Компонент рабочей среды». Входящие в запись параметры позволяют выполнять автоматизированный расчёт скорости звука для условий каждой ступени.

Рис.3 – Структура технологических параметров

Запись, объединяющая конструктивные параметры приведена на рис.4. Структура записи учитывает различные варианты конструкции ПК (оппозитный, V-образный, L-образный и т.п.) и вариант конструкции с двумя коленчатыми валами (использование электродвигателя с двумя консолями). Параметры структуры позволяют производить автоматизированный расчёт частот пульсаций потока для любой ступени с учётом гармоник и расчёт допустимого объёма буферной ёмкости.

Рис.4 – Структура конструктивных параметров

Структура записи «Техническое обслуживание» содержит данные и сведения о результатах ТО, набор которых достаточен для формирования большинства регламентируемых документов.

В статье приведены только четыре основополагающие составные части ИМ, содержащие 54 параметра. Полная ИМ поршневого компрессора содержит около 50 структур, включающих более 200 параметров. Авторы полагают, что рассмотренная модель может быть использована не только для решения задач этапа эксплуатации, но и для решения задач других этапов жизненного цикла (ЖЦ) компрессора. Использование ИМ другими участниками ЖЦ позволит работать им в едином информационном пространстве, создавая тем самым предпосылки для непрерывной информационной поддержки поршневых компрессоров.

Список литературы

1. *Пластинин П.И.* Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет: учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2000. - 456 с.;
2. СА 03-003-07 Расчеты на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов, 2007;
3. ПБ 03-582-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации компрессорных установок с поршневыми компрессорами, работающими на взрывоопасных и вредных газах, 2003;
4. Поршневые компрессоры [учеб. пособие для студентов под общ. ред. Б.С. Фотина]. Л.: Машиностроение, 1987. - 872 с.;
5. *Френкель М.И.* Поршневые компрессоры. Теория, конструкция и основы проектирования. - 3-е изд. перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1969. - 744 с.;
6. *Рахмилевич З.З.* Компрессорные установки: Справ. Изд. - М.: Химия, 1989. - 272 с.;
7. *Мыслицкий Е.Н., Киселёв Г.Ф., Рахмилевич З.З.* Техническое обслуживание и ремонт поршневых компрессорных машин. - М.: Химия, 1978. - 160 с.;
8. *Костенко Е.П.* Эксплуатация поршневых компрессоров. - М.: Машиностроение, 1964. - 107 с.;
9. Программное средство для автоматизации информационной поддержки и обеспечения промышленной безопасности технологических трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. – 2007. - № 10.- С. 24-29.
10. Опыт использования автоматизированной системы «Трубопровод» при техническом надзоре и экспертизе промышленной безопасности технологических трубопроводов // Химическая техника. – 2012. - № 5. - С. 37-44.

05.13.18

М.Ю. Сартасова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет),
механико-математический факультет, кафедра прикладной математики,
Челябинск, sartasova@math.susu.ac.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ДЛЯ РАСЧЕТА ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Рассматривается модель, основанная на численном решении интегрального уравнения в пространственно-временном представлении относительно неизвестной функции распределения токов. В качестве исходных используются решения волновых уравнений для потенциалов и полей. Численный расчет поля излучения производится методом аппроксимации тетракубическими сплайнами. Для построенной модели разработан алгоритм.

Ключевые слова: *математическое и численное моделирование, наносекундный импульс.*

Введение

В последние годы резко возрос интерес к изучению вопросов, связанных с формированием, излучением и распространением сверхкоротких импульсов (СКИ) [1-6].

Данная работа посвящена разработке математической модели импульсного электромагнитного поля, создаваемого наносекундным импульсом. В отличие от классической теории электродинамики, модель наносекундного импульса учитывает длительность и большую амплитуду импульса. Как следствие, для получения корректных численных решений, расчеты необходимо выполнять на сетках, размер которых сравним со временем существования импульса.

1. Постановка задачи

В задаче предполагается, что излучатель наносекундного импульса имеет сложную структуру, состоящую из электрических вибраторов, возбуждаемых от генераторов напряжений наносекундными импульсными сигналами. Каждый элемент излучателя задается следующими характеристиками: свойства материала, размеры, относительное расположение. Вибраторы расположены параллельно и на одинаковом расстоянии друг от друга вдоль одной оси. Окружающая среда однородная, изотропная, стационарная и без потерь.

Задача заключается в определении составляющих электромагнитного поля в заданной точке наблюдения.

2. Математическая модель

Каждый симметричный электрический вибратор представляет собой цилиндрический проводник, питаемый в точках разрыва генератором высокой частоты. Под воздействием ЭДС генератора в вибраторе возникают электрические токи, которые распределяются по его поверхности таким образом, что возбуждаемое ими электромагнитное поле удовлетворяет уравнениям Максвелла [9], граничным условиям на поверхности проводника и условию излучения на бесконечности.

Функции распределения токов по поверхности проводника заранее не известны и подлежат предварительному определению — в этом состоит внутренняя задача теории вибратора, которая является весьма сложной и даже в простейшем случае вибратора малой толщины сводится к решению так называемого интегрального уравнения Галлена.

В работах [1,3,8,9] получены основные электродинамические соотношения для расчета

импульсных полей излучения.

Для решения поставленной задачи предположим, что закон распределения тока вдоль излучателя равномерный, т.е. величина тока не зависит от координаты z, а зависит только от времени. При сделанных предположениях запишем уравнения для векторного потенциала (10):

$$\begin{cases} A_x(p,t) = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\int\limits_V \dfrac{I_x(t-R/c)}{R}dV, \\ A_y(p,t) = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\int\limits_V \dfrac{I_y(t-R/c)}{R}dV, \\ A_z(p,t) = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\int\limits_V \dfrac{I_z(t-R/c)}{R}dV. \end{cases} \quad (10)$$

Тогда для компонент поля H:

$$\begin{cases} H_x(p,t) = \dfrac{1}{\mu_0}\left(\dfrac{\partial A_z(p,t)}{\partial y} - \dfrac{\partial A_y(p,t)}{\partial z}\right), \\ H_y(p,t) = \dfrac{1}{\mu_0}\left(\dfrac{\partial A_x(p,t)}{\partial z} - \dfrac{\partial A_z(p,t)}{\partial x}\right), \\ H_z(p,t) = \dfrac{1}{\mu_0}\left(\dfrac{\partial A_y(p,t)}{\partial x} - \dfrac{\partial A_x(p,t)}{\partial y}\right) \end{cases} \quad (11)$$

а для компонент поля E получим:

$$\begin{cases} E_x(p,t) = c^2\int\limits_0^t \dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{\partial A_x(p,t)}{\partial x} + \dfrac{\partial A_y(p,t)}{\partial y} + \dfrac{\partial A_z(p,t)}{\partial z}\right)dt - \dfrac{\partial A_x(p,t)}{\partial t}, \\ E_y(p,t) = c^2\int\limits_0^t \dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{\partial A_x(p,t)}{\partial x} + \dfrac{\partial A_y(p,t)}{\partial y} + \dfrac{\partial A_z(p,t)}{\partial z}\right)dt - \dfrac{\partial A_y(p,t)}{\partial t}, \\ E_z(p,t) = c^2\int\limits_0^t \dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{\partial A_x(p,t)}{\partial x} + \dfrac{\partial A_y(p,t)}{\partial y} + \dfrac{\partial A_z(p,t)}{\partial z}\right)dt - \dfrac{\partial A_z(p,t)}{\partial t}. \end{cases} \quad (12)$$

Для решения задачи, связанной с моделированием электромагнитного поля используется метод нахождения численного решения волнового уравнения с помощью метода сплайнов [7]. Поскольку каждая из величин – поле, ток и т. д. могут быть функцией четырех переменных, то они должны быть представлены в виде тетракубического сплайна:

$$f(x_i, y_j, z_p, t_q) = \sum_{k=0}^{3}\sum_{l=0}^{3}\sum_{m=0}^{3}\sum_{n=0}^{3} a^{(ijpq)}_{klmn}\frac{(x-x_i)^k}{k!}\frac{(y-y_j)^l}{l!}\frac{(z-z_p)^m}{m!}\frac{(t-t_q)^n}{n!}, \quad (13)$$

$i=\overline{0,I};\ j=\overline{0,J};\ p=\overline{0,P};\ q=\overline{0,Q}$, $x\in[a,b],\ y\in[c,d],\ z\in[e,f],\ t\in[g,h]$.

Величины I, J, P, Q – определяют количество точек разбиения по каждой переменной и влияют на точность аппроксимации.

Многочисленные расчеты тестовых примеров и полей реальных излучателей показали, что увеличение числа точек разбиения и увеличение степени сплайна ведет к уменьшению относительной ошибки аппроксимации. Однако при этом естественно возрастает и время счета.

3. Алгоритм решения

Расчет поля излучения производится в следующем порядке:

1. Производится расчет распределения тока по излучателю с учетом его зависимости от времени и с учетом «скин-эффекта».
2. Находится сплайн, интерполирующий распределение тока.
3. Проводится расчет подынтегрального выражения в формуле для векторного потенциала.
4. Находится интерполирующий сплайн.

5. Путем интегрирования сплайна производится расчет потенциала в области, где необходимо будет вычислять поля E и H.
6. В данной области производится построение сплайна для поля потенциала.
7. Находятся первые, вторые и смешанные производные сплайна.
8. Формируются компоненты поля H и компонента поля E, пропорциональная $\frac{\partial A}{\partial t}$.
9. Производится интегрирование по времени пространственных компонент вектора E.
10. Формируются компоненты вектора E.

Для оптимизации алгоритма используются технологии распределенных вычислений, основанные на методе двуциклического расщепления второго порядка точности по пространственным переменным и времени.

4. Реализация алгоритма

Алгоритм реализован на языке C++ с применением библиотеки передачи сообщений MPI. Распараллеливание осуществляется на этапе расщепления задачи по пространственным переменным.

Для построения расчетной сетки задачи предварительно задаются координаты вершин модуля, который характеризуется однородным материалом. Для разделения модуля по нескольким вычислительным узлам применяется способ 3D-разбиения. На каждом узле кластера программой выполняется поэтапная согласованная реализации метода расщепления. Эффективность алгоритма определялась по формуле

$$E_p(n) = \frac{T_1(n)}{pT_p(n)} = \frac{S_p(n)}{p},$$

где E_p - ускорение работы программы на p процессорах, T_i - время расчета задачи на i процессорах, n – количество элементов разбиения. Эффективность распараллеливания для 8 процессоров составила 93%.

Применение параллельных вычислений позволяет существенно снизить время расчета, что особенно актуально при решении пространственных динамических задач.

Список литературы

1. Наносекундные электромагнитные импульсы и их применение */ В.С. Белкин, В.А. Бухарин, В.К. Дубровин и др. / под ред. В.В. Крымского*. – Челябинск: Изд-во. "Татьяна Лурье", 2001. 119 с.
2. *Крымский В.В., Бухарин В.А., Заляпин В.И.* Теория несинусоидальных электромагнитных волн. – Челябинск: Издательство ЧГТУ, 1995. – 128 с.
3. *Крымский В.В.* Зоны формирования импульса несинусоидального поля //Перспективы развития антенно-фидерной техники и ее элементной базы. Суздаль: МЭИ, 1992 г.
4. *Крымский В.В., Литвинова е.В., Сергеев С.Н.* Влияние наносекундных импульсов на коррозийную стойкость стали //Предпринт. – Челябинск: ЮурГУ, 1999. – 25 с.
5. *Крымский В.В., Балакирев В.Ф.* Воздействие наносекундных электромагнитных импульсов на свойства веществ// Доклады Российской академии наук, 2002. Т. 385. №6. С. 786–787.
6. *Крымский В.В., Серегин В.П.* Синтез полей типа “ближней зоны антенн”. – В сб.: Радиоприборостроение. – Новосибирск: НИСИ, 1977 – с. 131–134
7. *Крымский В.В., Лысенко Ю.В.* Применение сплайнов в задачах синтеза антенн. – В сб.: Теория и техника радиосистем. – Челябинск: ЧПИ, 1980 – с. 102–104
8. *Крымский В.В., Хашимов А.Б.* Учет взаимного влияния антенн при измерении их характеристик. – В сб.: Метрологическое обеспечение антенных измерений. – Тез. докл. II Вс. НТК. – Ереван: ВНИИРИ, 1981 – с. 125–127
9. *Марков Г.Т., Петров Б.М., Грудинская Г.П.* Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Сов. Радио, 1974 – 373 с.

05.07.05

В.В. Севастьянов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра гидравлики и гидравлических машин, Пермь, ggm@cpl.pstu.ac.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛА ГЕРМЕТИЗАЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Проведен расчет газодинамических параметров спиральной канавки газового бесконтактного уплотнения. Определены критические скорости вращения, вследствие изменения габаритно-массовых характеристик ротора.

Ключевые слова: *центробежный компрессор, газовое торцовое уплотнение, масляное торцовое уплотнение, критическая скорость вращения, сжимаемость, герметичность.*

Повышение надежности центробежных компрессоров, экономичности, пожарной и экологической безопасности является актуальной проблемой. Один из приоритетных путей модернизации, это замена масляных торцовых уплотнений на бесконтактные газовые [1].

Газовые бесконтактные уплотнения показали свою эффективность и в настоящее время используются более чем на 70% центробежных компрессорах.

Главным элементом газодинамического торцового уплотнения является уплотнительная пара, которая состоит из вращающегося кольца (седло) и невращающегося кольца (торец) (рис.1) [2].

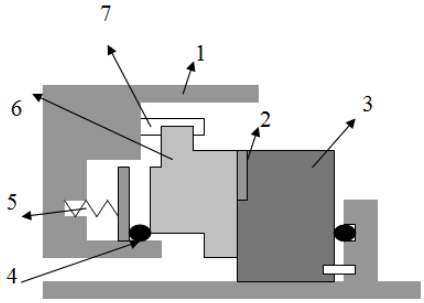


Рис. 1- Схема конструкции уплотнительной пары
газодинамического торцового уплотнения:
1- корпус, 2- канавки, 3- вращающееся кольцо (седло), 4- вторичное уплотнение,
5- система пружин, 6- невращающееся кольцо (торец),7- фиксатор от поворота

На торцовой поверхности вращающегося кольца расположены спиральные канавки, которые при вращении кольца создают уплотнительный зазор. При заданном режиме работы компрессора величина уплотнительного зазора будет определяться конструктивной схемой вращающегося кольца.

Анализ конструктивных схем показал, что одним из элементов, оказывающих существенное влияние на режимы и условия работы уплотнения, являются газодинамические параметры спиральной канавки [3].

Рассмотрена возможность использования газодинамического торцового уплотнения фирмы «Джон Крейн» на центробежном компрессоре 5RSA.

При определении параметров спиральной канавки учитывалось скольжение несущего слоя и скольжение потока, реальная геометрия, в том числе количество спиральных канавок.

Исходные данные необходимые для газодинамического расчета представлены на расчетной схеме (рис.2).

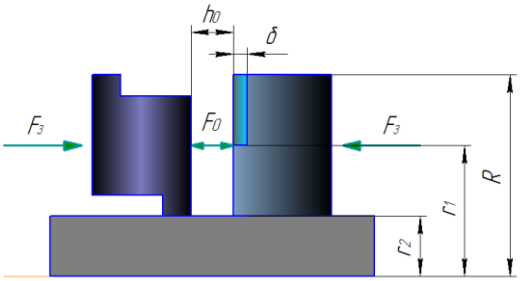


Рис.2- Расчетная схема бесконтактного газодинамического уплотнения:

F_O – открывающая, подъемная сила, Н; $F_З$ – закрывающая сила, Н; h_0 – номинальное значение зазора, м; δ – глубина канавок, м; r_1 – радиус окружности, разграничивающей профилированную и гладкую зону седла, м; r_2 – радиус внутренней границы седла, м; R – радиус внешней границы седла, м

Для обеспечения требуемой герметичности необходимо выполнение условия [4]:

$$F_З = F_O \tag{1}$$

Открывающая, подъемная сила определяется:

$$F_O = \pi \cdot R^2 \cdot P_A \cdot F_\rho, \tag{2}$$

где P_A – атмосферное давление; F_ρ – безразмерная подъемная сила.

Безразмерная подъемная сила рассчитывается:

$$F_\rho = 2\int_{\rho_1}^{1} p(\rho)\cdot\rho\cdot d\rho + 2\int_{\rho_2}^{\rho_1} p_G(\rho)\cdot\rho\cdot d\rho + p_0(1-\rho_2^2), \tag{3}$$

В выражении (3): $P_G(\rho)$ – безразмерное давление в гладкой кольцевой зоне; $P(\rho)$ – безразмерного давления в профилированной зоне.

Распределение безразмерного давления в профилированной зоне определяется:

$$\frac{dP}{d\rho} = -\Lambda\cdot A\cdot\frac{A_0 + A_1\cdot\Lambda_\eta + A_2\cdot\Lambda_\eta^2}{B_0 + B_1\cdot\Lambda_\eta + B_2\cdot\Lambda_\eta^2}\cdot\rho + \frac{\nu^3(\varepsilon_1 + \varepsilon_2\cdot\Lambda_\eta)\cdot(P_1 - P_0)\cdot[12m_0 + (1+\xi)(P_1 + P_0)]}{2\rho P_\rho(1+\xi)\cdot(B_0 + B_1\cdot\Lambda_\eta + B_2\cdot\Lambda_\eta^2)\cdot\ln\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)}, \tag{4}$$

Уравнение (4) интегрируется при граничных условиях:

$P=P_0$ при $\rho=1$; $P=P_1$ при $\rho=\rho_1$

где Λ_0 – нормированный параметр сжимаемости; ξ – относительное осевое смещение седла; ρ_1 – безразмерная радиальная координата; ν – относительная плавность зазора; P_1 – неизвестная константа, определяющая безразмерное давление в профилированной зоне; m_0 – число Кнудсена; Λ – параметр сжимаемости; Λ_η – местный параметр сжимаемости.

Уравнение решалось методом Рунге-Кутта, с использованием пакета MathCAD.

Параметры, входящие в уравнение (4) определялись по формулам, представленным ниже [4]:

$$\xi = \frac{h_b - h_0}{h_0}, \qquad \Lambda = \frac{\Lambda_0}{(1+\xi)^2}, \qquad \Lambda_0 = \frac{6\mu\omega R^2}{p_a h_0^2},$$

$$\rho_1 = \frac{r_1}{R}, \qquad m_0 = \frac{l_a}{h_0}, \qquad \nu = 1-\gamma,$$

$$\Lambda_\eta = \frac{\Lambda\cdot\pi}{n\cdot p}\rho_1^2\cos^2(\theta),$$

$$A_0 = \alpha(1-\beta\nu^3), \tag{5}$$

$$A_1 = \tau_1\alpha^2 - \tau_2\alpha\nu^2(1-\alpha\gamma),$$

$$A_2 = -\tau_2\chi\alpha^2\nu^2[\tau_1 - \tau_2\nu^3(1-\tau_2\gamma)],$$

$$B_0 = \left(\frac{1}{\tau_1}\right)\cdot[\nu^3\sin^2(\theta) + (\alpha+\beta\chi\nu^3)(\alpha\nu^3+\beta\chi)\cos^2(\theta),$$

$$B_1 = \nu^2[\tau_2\chi\alpha\gamma(\chi+\alpha\nu^3)(\alpha^2-\beta\chi^2\nu^2) + (\alpha+\beta\chi\nu^3)(\chi^2-\nu\alpha^2)]\sin^2(\theta) +$$

$$+[\alpha^2(\alpha\nu^3+\frac{\chi}{\beta}) - \tau_2\alpha\gamma\chi^2\nu^2]\cos^2(\theta),$$

$$B_2 = \tau_1\nu^2[\alpha^2(\chi-\nu\alpha^2) + \nu(\alpha^2+\beta\chi\nu^2)^2 + \tau_1\tau_2\gamma\chi^2\alpha^2\nu^2(\sin^2(\theta)+\cos^2(\theta))]\sin^2(\theta),$$

$$\varepsilon_1 = \alpha+\beta\chi\nu^3, \qquad \varepsilon_2 = \tau_1\alpha^2.$$

В зависимостях (5):

μ – динамическая вязкость уплотняющего газа; ω – угловая скорость седла; h_b – значение зазора на выступе из канавки; ξ – относительное осевое смещение седла; l_a – значение средней длины свободного пробега молекулы уплотняющего газа при температуре T = 60 ^{0}C; γ – относительная глубина канавок; ρ_1 – безразмерная радиальная координата; α =0.668 – вспомогательный параметр; θ – угол наклона канавок к радиальной оси; β = 1,006 – вспомогательный параметр.

Безразмерное давление в гладкой кольцевой зоне:

$$p_G(\rho) = \left[(P_1-P_0)\cdot\left(P_1+P_0+\frac{12m_0}{1+\xi}\right)\cdot\frac{\ln\left(\frac{\rho}{\rho_2}\right)}{\ln\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)} + P_0\left(P_0+\frac{12m_0}{1+\xi}\right) + \left(\frac{6m_0}{1+\xi}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} - \frac{6m_0}{1+\xi}. \qquad (6)$$

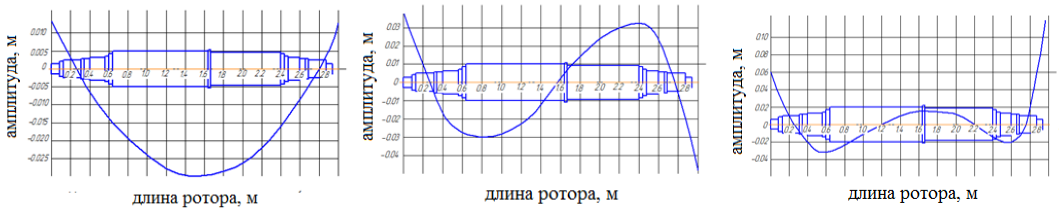
Закрывающая сила в формуле (1) определяется:

$$F_З = F_{ПРУЖ} + F_p - F_{ВСП.УПЛОТ.} = k_{ПР}\cdot\Delta l_{ПР}\cdot 26 + P_Г\cdot S_K - 0{,}215\cdot P_Г\cdot S_{К.ВСП.УПЛОТ}, \qquad (7)$$

где $k_{ПР}$ – жесткость упругого элемента; $\Delta l_{ПР}$ – рабочая деформация упругого элемента; $P_Г$ - давление газа; $S_{К.ВСП.УПЛОТ}$ – площадь вспомогательного уплотнения; S_K – площадь кольца седла.

Используя полученные зависимости, проведен анализ конструктивных схем спиральной канавки газового бесконтактного уплотнения выпускаемые фирмой «Джон Крейн» с учетом ограничений связанных с возможностью их использования в центробежном компрессоре 5RSA. Анализ показал, что бесконтактные газовые уплотнения, соответствуют требованиям, предъявляемым к узлу герметизации компрессора.

Оценка амплитуд изгибающих колебаний ротора компрессора после его доработки была проведена в программе «ROTOR» методом конечных элементов. Результаты представлены на рисунках 3 а, б, в.



а б в

Рис.4 - Деформация ротора

Таким образом, установлено, что модернизация позволит: существенно уменьшить утечки газа и потери на трение в узлах уплотнения; исключить загрязнение газа маслом и растворение газа в масле; отказаться от сложной и дорогостоящей масляной системы

уплотнений; уменьшить затраты на техническое обслуживание; увеличить ресурс работы уплотнения и повысить пожаро-взрывобезопасноть компрессорной установки.

Список литературы

1. *Селянская Е.Л. [и др.]* /Модернизация системы концевых уплотнений центробежного компрессора – «плюсы и нюансы» // Сборник трудов Двенадцатого международного Симпозиума «Потребители, производители компрессоров и компрессорного оборудования». – СПбГТУ, 2006. – №4.- С. 173-177.
2. *Голубев А.И.* Торцовые уплотнения вращающихся валов. – М.:Машиностроение, 1974.
3. *Майер Э.* Торцовые уплотнения. – М.: Машиностроение, 1978.
4. *Демур, А.С. Фалалеев С.В.* /Методика расчета торцового уплотнения с микроканавками // Известия Самарского научного центра Российской академии наук – Самарский государственный аэрокосмический университет, 2008. - №3 – С.34-37.

05.13.18

С.А. Семенов

МАИ, Москва, stdx@inbox.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ГРАФИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЯХ

Правильное конфигурирование вычислительных потоков на видеокарте дает многократный прирост производительности. Необходимо распределять данные определенным образом для того, чтобы потоки исполнялись параллельно. Прямое вычисление потенциала многочастичного взаимодействия не всегда позволяет эффективно использовать графические вычислительные ресурсы. Сочетание техник молекулярной динамики позволяет достичь ускорения работы программы моделирования наносистем.

Ключевые слова: *Параллельные вычисления, графические процессоры, молекулярно-динамическое моделирование, наноматериалы, углеродные наноструктуры.*

Существует несколько методов моделирования физико-химических процессов в нанотехнологиях. К таким методам относятся: квантовая механика [1], молекулярная динамика [2], методы Монте-Карло. Наиболее просто реализуется и даёт хорошие результаты метод молекулярной динамики. Этот метод основан на принципах классической динамики движения частиц. Взаимодействие частиц происходит посредством потенциальной функции взаимодействия. Выбор потенциала является наиболее важным этапом построения численной модели.

Для решения уравнений движения разностными методами выбирается шаг по времени порядка 1 фемтосекунды. Этот шаг соответствует устойчивости уравнений движения и внутренним молекулярным колебаниям систем. Если для моделирования движения одного атома до 1 миллисекунды «жизни» потребуется 1 секунда компьютерного времени одного вычислителя, то для моделирования макросистемы из 1 грамма вещества потребуется несколько миллионов лет.

Молекулярная динамика работает непосредственно с атомами, т. е. размер моделируемых частиц порядка 10^{-10} м и характерные шаги по времени порядка 10^{-15} секунды. Современные вычислители позволяют моделировать наносекунды поведения молекулярных систем [3]. В качестве самого доступного варианта можно назвать видеокарты.

В отличие от CPU графические процессоры имеют более простой набор команд, меньшего размера блоки управления и кэширования, но имеют значительно больше самих вычислителей. Кроме того, вычислительные блоки унифицированы для обработки, как векторных операций, так и растровых.

В этой работе рассматриваются углеродные структуры: графен, фуллерены, нанотрубки, для которых было создано программное обеспечение молекулярно-динамического моделирования.

Для рассматриваемых структур хорошо подходит потенциал Бреннера [4]. Потенциал – это двойная сумма притягивающих и отталкивающих компонент. Перед притягивающей компонентой стоит коэффициент, позволяющий описывать разные углеродные структуры. В него заложено ковалентное и электрическое взаимодействие в модели ближних соседей. Выражение потенциала в его прямой записи нарушит структуру параллельного вычисления, так как требует прохода по всем атомам системы несколько раз. Множественные вычислители дадут преимущество в первой сумме. Вторую сумму необходимо преобразовать для параллельного расчёта.

Кроме того, понадобилась особая модель движения атомов для переноса на параллельные вычислители. Трехмерное пространство ограничивается характерным размером, например 40 Å. Оно разбивается на части, соответствующие количеству вычислительных блоков, например на 64 части по каждой оси. Каждому атому приписывает номер ячейки, в которой он находится. По трём номерам вычисляется хэш функция так, что трехмерное положение

атомов записывается в одномерный массив. Этот массив сортируется. Таким образом, получается массив номеров, который определяет пространственную близость атомов. С учетом ограничивающей функции оказывается достаточным провести вычисления потенциала для атомов в соседних ячейках.

Память графической карты изменяет скорость работы алгоритма в зависимости от способа доступа. Поэтому на графической плате реализовано несколько видов памяти. Глобальная память имеет возможность динамического случайного доступа (DRAM), может хранить большой объём данных, но вносит большие задержки. Считывание одного байта из глобальной памяти происходит за 400-600 тактов. Технология DRAM памяти позволяет считывать несколько адресов, если выполнен запрос к последовательным блокам. В таком случае доступ к памяти происходит с максимальной пропускной способностью. Перед выполнением инструкции мультипотока аппаратное обеспечение проверяет, в какие блоки памяти будет запрос и назначает последовательность считывания.

Так как число атомов может быть очень большим до 10^9, то размещать данные по координатам, скоростям и ускорениям необходимо в глобальной памяти видеокарты. В процессе вычисления силы способ доступа к памяти является хаотичным. Чтобы упорядочить расположение блоков, проводится сортировка атомов. Если данные для вычисления силы, действующие на один атом, попадут в последовательные блоки памяти, и не будут блокироваться вычислениями сил других атомов, то считывание данных будет происходить одновременно.

Для определения действующей на атом результирующей силы необходимо рассчитать вклады, вносимые всеми атомами системы. Однако структура большинства потенциалов многочастичного взаимодействия позволяет учитывать не все атомы, а лишь соседние по отношению к рассматриваемому атому. Таким образом, у атома возникает определенный набор соседей, для которых необходимо провести вычисление сил. Здесь можно выделить два основных способа [5]: составлять список соседей или разбить пространство на ячейки. В первом случае с использованием ограничивающих сфер выбираются все соседние частицы, которые вносят вклад в результирующую силу. При этом необходимо обновлять данный список на каждом шаге и для каждого атома.

Можно составить список соседей каждого атома и вычислять потенциал только для них. Причем желательно не пересчитывать этот список на каждом шаге, а выбрать вместе с радиусом усечения и радиус определения соседей. Рассматривая атомы на расстоянии между r_{in} и r_{out}, следует отмечать какие из них пройдут расстояние достаточное для попадания в список соседей, после этого добавлять их.

Согласно второму способу пространство разбивается на ячейки, определяемые ограничивающей функцией (рис.1). В этом случае учитываются дополнительные атомы, которые практически не вносят вклад в результирующую силу. Однако данный подход обладает важным достоинством - конфигурация ячеек известна заранее и не изменяется в процессе моделирования.

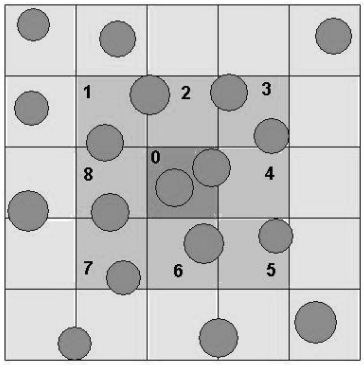


Рисунок 1. Ячеистая модель движения, соседние ячейки пронумерованы одним из способов. Цифрами отмечены соседние для центральной ячейки. В них проверяются ближайшие соседи атома.

Применительно к распараллеливанию на графических процессорах более эффективным оказывается использование ячеистой модели движения [6]. При этом для частиц, находящихся в некоторой ячейке, можно учитывать только взаимодействие с частицами из соседних ячеек. Для определения соответствия частицы определенной ячейке можно использовать не трехмерные координаты, а хэш-функцию:

$$hash_i = z_i \cdot YSize \cdot XSize + y_i \cdot XSize + x_i, \quad (1)$$

где Xsize, Ysize – размеры ячеек, в данной реализации в ангстремах.

В случае сложного потенциала необходимо рассчитывать угловые и торсионные силы. Для этого необходимо зафиксировать атом, его соседний атом и проверять ближайших соседей, которые удовлетворяют формуле плоского и двугранного угла. Это приводит к считыванию памяти по одному и тому же адресу несколько раз, что разрушает параллельные потоки и даёт коллизий памяти.

Алгоритм изменён так, что в первом проходе по ячейкам фиксируется атом, и составляется список его соседей:

```
makeList<<< numBlocks, numThreads >>>((float4*)sortedPos,
                                      cellStart,
                                      cellEnd,
                                      numParticles,
                                       list,
                                      (float4*)listPos);
```

где numBlocks, numTreads количество вычислительных блоков и потоков, sorterdPos – массив сортированных радиус-векторов атомов, cellStart – массив начальных атомов в ячейках, cellEnd – массив конечных атомов в ячейках, numParticles – количество атомов, list – массив номеров ближайших соседей, listPost – массив радиус векторов ближайших соседей.

Это позволяет эффективно использовать пространство моделирования за счёт ячеистой технологии, при этом не делать цикл по всем атомам, как того требовала техника списков соседей.

На втором этапе используются составленные списки ближайших атомов для вычисления угловых и торсионных сил:

```
coeff<<< numBlocks, numThreads >>>((float4*)sortedPos,
                                    numParticles,
                                   (float4*)bondCoeff,
                                   (float4*)listPos,
                                    list);
```

где bondCoeff – коэффициенты угловых и торсионных сил.

Следует отметить, что максимальный размер списка ближайших соседей равен 8, по числу валентных связей атома. Таким образом, размеры массива можно задать перед исполнением, чего требует компилятор видеокарты. У каждого атома появился список номеров ближайших атомов и их координаты, что разрешает коллизии памяти и допускает параллельное исполнение мультипотоков.

На графике 2 представлено сравнение ячеистой модели движения и гибридного алгоритма. Видно, что время вычисления градиента потенциала Бреннера в случае ячеистой модели росло в зависимости от количества атомов, тогда как в гибридном алгоритме оно постоянно. Для расчёта потенциала не требуются данные по трём и четырём атомам, коэффициенты уже известны, поэтому в обоих случаях время не зависит от количества атомов. При использовании гибридного алгоритма время уменьшилось до 21 микросекунды по сравнению с ячеистой моделью движения, в которой требовалось 185 микросекунд.

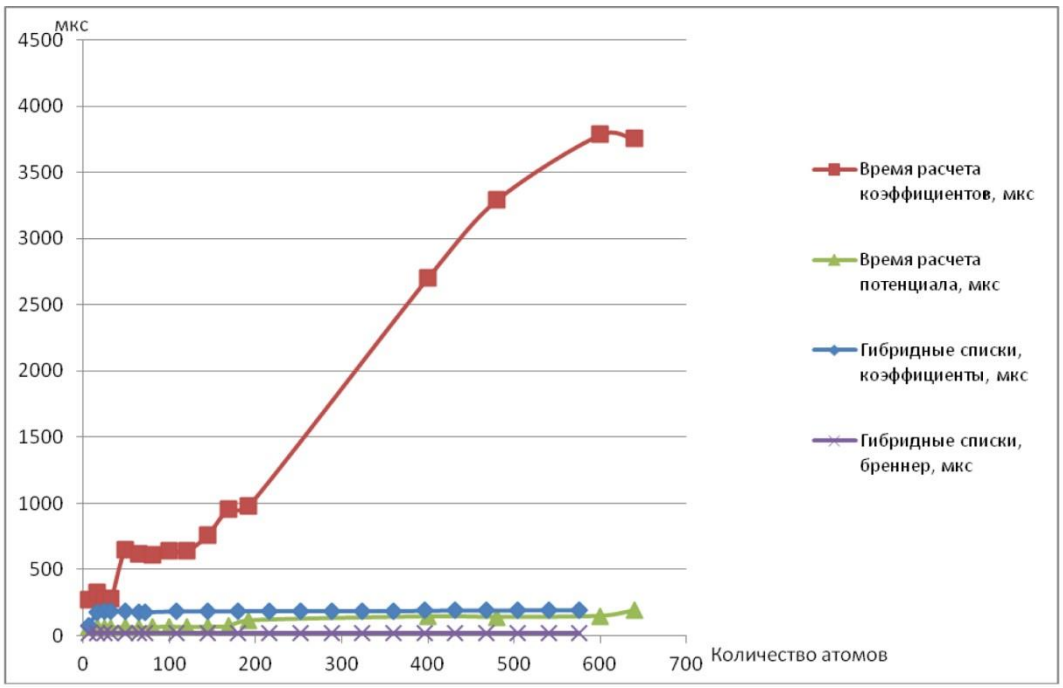


Рисунок 2. Время расчёта потенциала Бреннера и его градиента.

На рисунке 2 квадратными и треугольными маркерами отмечено время расчёта коэффициентов по формуле [2]:

$$b_{ij} = \frac{1}{2}(b_{ij}^{\sigma-\pi} + b_{ji}^{\sigma-\pi}) + \pi_{ij}^{RC} + b_{ij}^{DH} \tag{2}$$

$$b_{ij}^{\sigma-\pi} = \left[1 + \sum_{k\neq i,j} f_{ik}^{c}(r_{ik}) G(\cos(\theta_{ijk})) e^{\lambda ijk} + P_{ij}(N_i^C, N_i^H)\right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\pi_{ij}^{RC} = F_{ij}(N_i^l, N_j^l, N_{ij}^{conj})$$

$$b_{ij}^{DH} = T_{ij}(N_i^l, N_j^l, N_{ij}^{conj}) \left[\sum_{k\neq i,j} \sum_{l\neq i,j} (1-\cos^2(\Theta_{ijkl})) f_{ik}^{c}(r_{ik}) f_{jl}^{c}(r_{jl})\right]$$

Ромбическими маркерами и крестиками отмечено время расчёта потенциала Бреннера по формуле с известными коэффициентами b_{ij}:

$$E^B = \sum_i \sum_{j>i} (V^R(r_{ij}) - b_{ij} V^A(r_{ij})) \tag{3}$$

$$V_A(r_{ij}) = f^c(r_{ij}) \sum_{n=1,3} B_n e^{-\beta_n r_{ij}}$$

$$V^R(r_{ij}) = f^c(r_{ij})(1 + \frac{Q}{r_{ij}}) A e^{-\alpha r_{ij}}$$

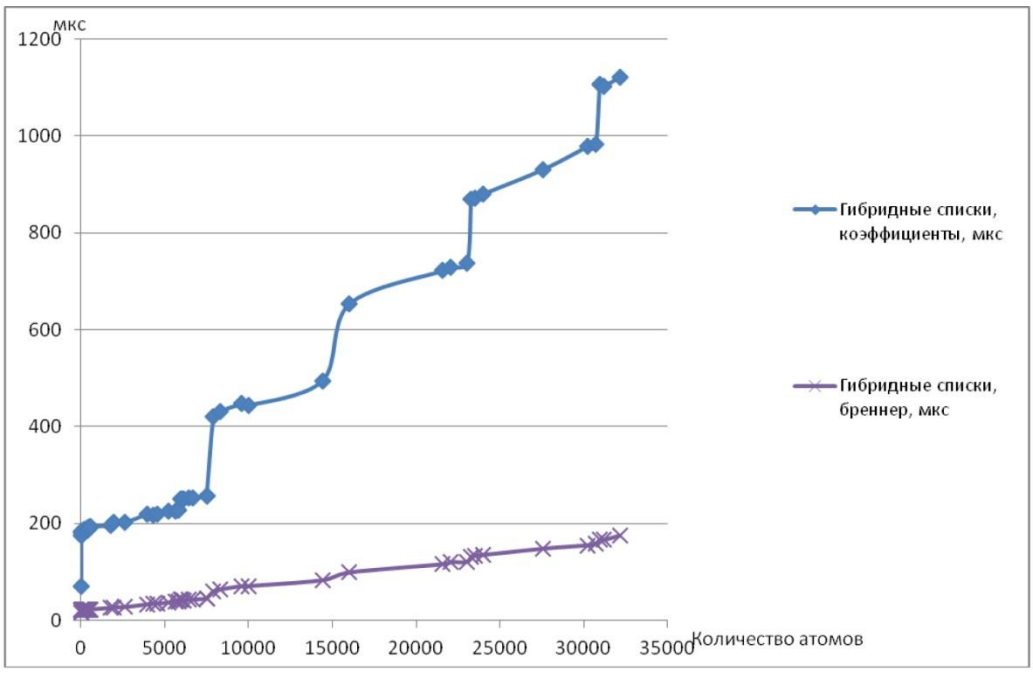


Рисунок 3. Время расчёта потенциала Бреннера и его градиента в параллельных вычислениях на аппаратном обеспечении A.

На рисунке 3 показана зависимость времени расчётов потенциала и градиента потенциала Бреннера в случае использования гибридного алгоритма молекулярного моделирования. График имеет ступенчатый вид, что характерно для параллельного алгоритма. При увеличении количества частиц в 100 раз время расчётов увеличивается всего в 6 раз.

На рисунке 4 показано влияние программного обеспечения на скорость моделирования графена на аппаратном обеспечении Intel Core i3, 2.93ГГц, 4 ядра, 4Гб RAM, nVidia GeForce GTX 480 (A) с программным обеспечением Windows 7 Про Cuda 5.0 и Cuda 5.5. Видно, что программное обеспечение влияет неоднозначно на скорость расчётов, время расчётов потенциала Бреннера увеличилось на 55%, время расчётов коэффициентов увеличилось на 4%.

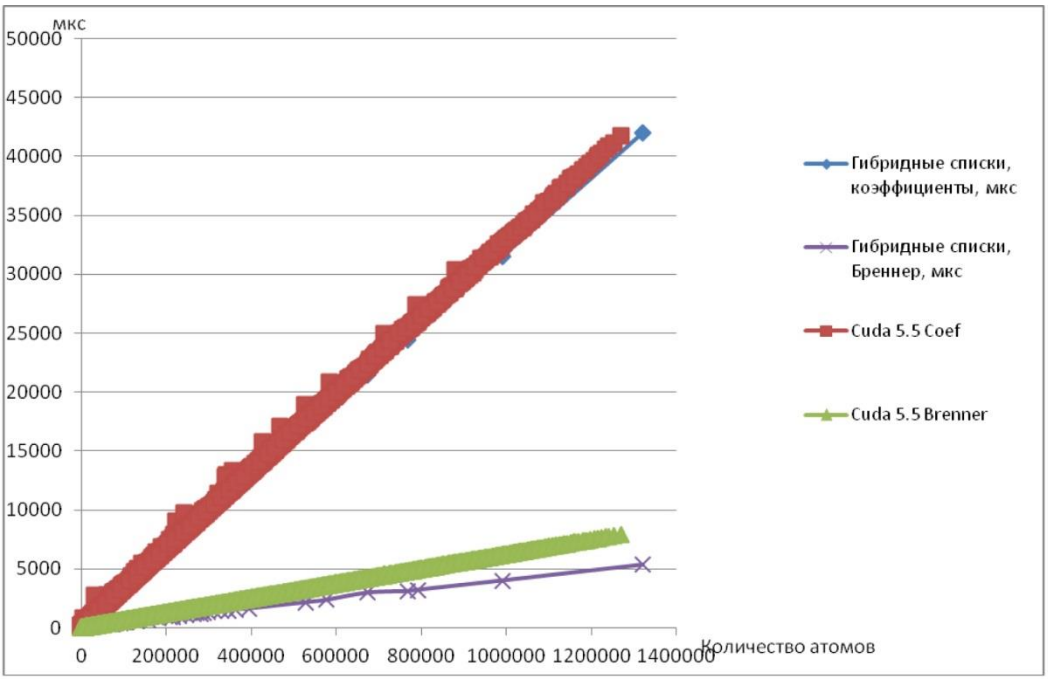


Рисунок 4. Время расчёта потенциала Бреннера и его градиента при разных версиях CUDA 5.0 и 5.5.

На рисунке 5 показано сравнение производительности аппаратного обеспечения (A) и Intel Core i7 2600, 3.4ГГц, 8 ядер, 8Гб RAM, nVidia Quadro 4000 (B) с программным обеспечением

Windows 7 Корп Cuda 5.5. Видно, что аппаратное обеспечение значительно влияет на скорость расчётов, время расчётов потенциала Бреннера увеличилось в 2.21 раза, время расчётов коэффициентов увеличилось в 2.73 раза. Также можно отметить линейную зависимость затраченного времени от количества частиц, хотя в общем случае для расчёта коэффициентов требуется $O(N^4)$ операций.

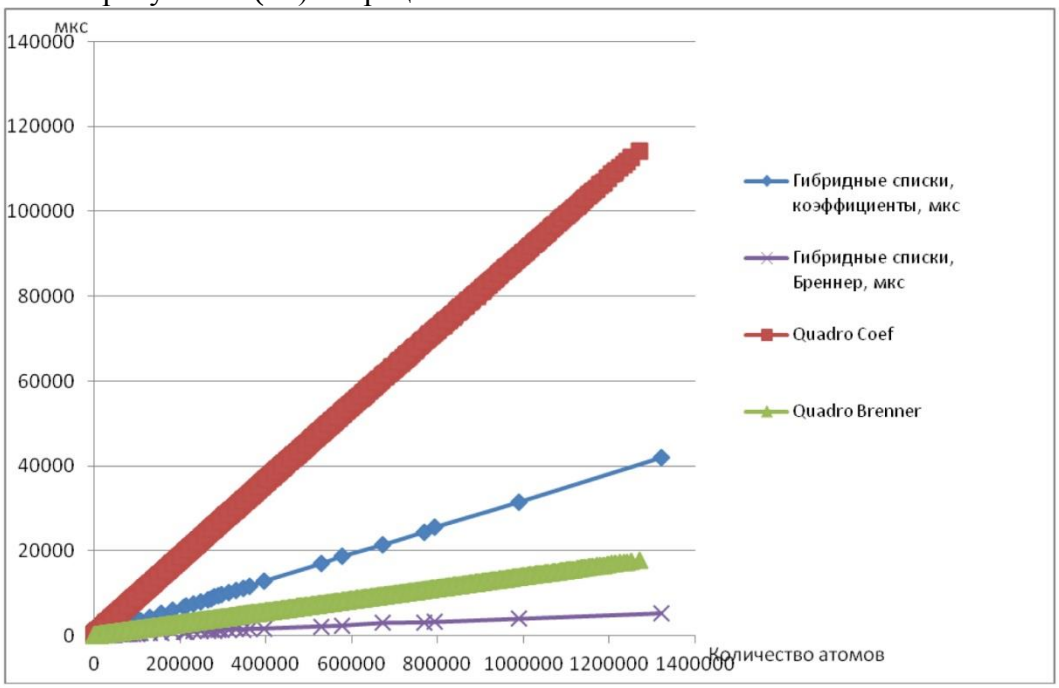


Рисунок 5. Время расчёта потенциала Бреннера и его градиента при разных видеокартах GTX480 и Quadro4000.

На рисунке 6 показано сравнение производительности аппаратного обеспечения (A) и Intel Xeon E5-2650 2.00GHz, 32 ядра, 128Гб RAM, nvidia Tesla M2075 (C) с программным обеспечением CentOS 6.2 Cuda 5.5. Можно сделать вывод, что в аппаратном обеспечении на скорость расчётов влияет производительность одного ядра, а объём памяти следует учитывать для увеличения размера задачи. Время расчётов потенциала Бреннера увеличилось в 1.36 раза, время расчётов коэффициентов увеличилось в 1.62 раза.

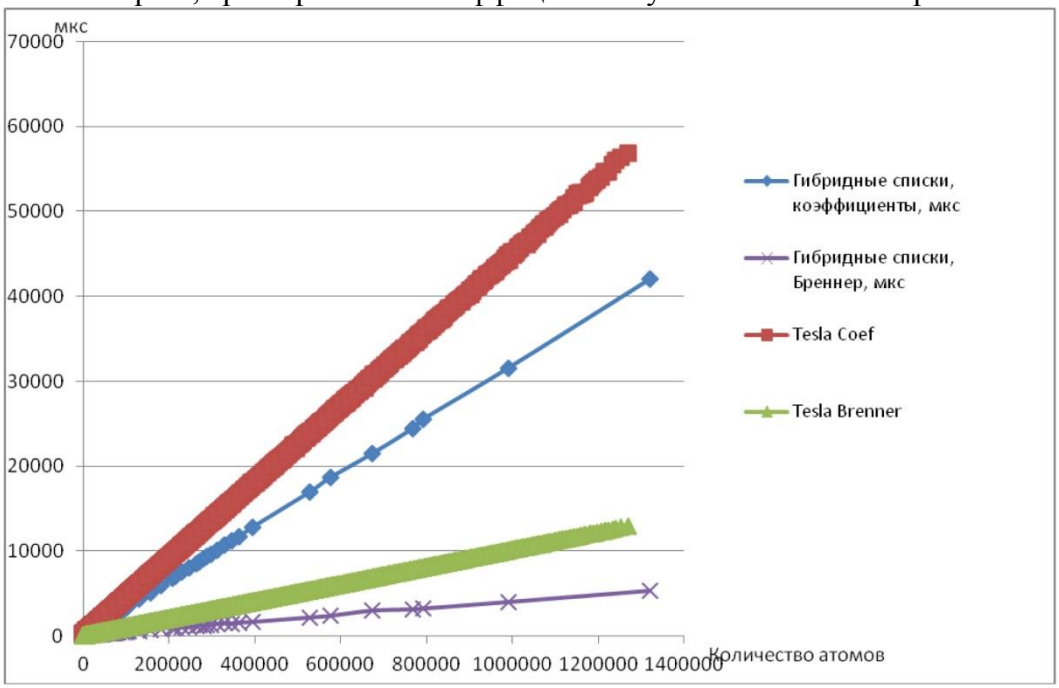


Рисунок 6. Время расчёта потенциала Бреннера и его градиента при разных видеокартах GTX480 и Tesla4000.

На рисунке 7 вырезана часть графика с рисунка 6, где можно видеть ступенчатую структуру графика, что характерно для параллельных вычислений. Для разных вариантов аппаратного обеспечения ширина ступенек получается одинаковой, порядка 7300 атомов для задачи молекулярного моделирования графена.

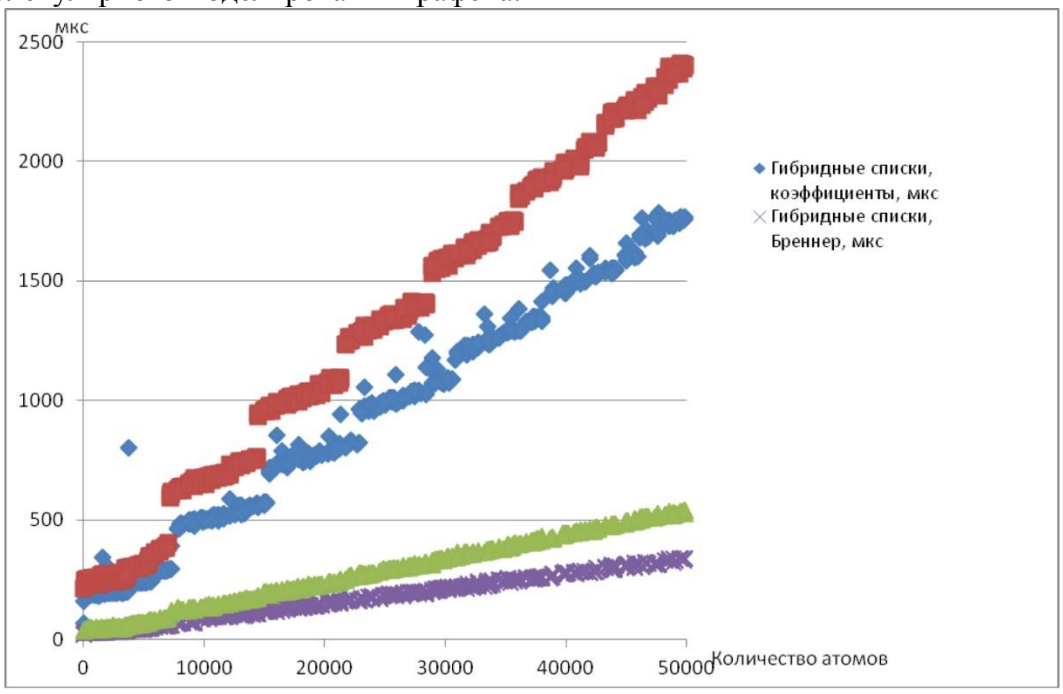


Рисунок 7. Время расчёта потенциала Бреннера и его градиента в параллельных вычислениях на аппаратном обеспечении C.

Разработанная программа позволяет рассчитывать поведение образцов графена размером до нескольких микрометров в течении наносекунд за несколько минут компьютерного времени.

Список литературы

1. *Ihnatsenka S.* Computation of electron quantum transport in graphene nanoribbons using GPU. // Computer Physics Communications. 2012. V. 183. PP. 543-546.
2. *Browna W. M., Nguyena T. D., Fuentes-Cabrerab M., Fowlkesb J. D., Rackc P. D., Bergerd M., Blanda A. S.* An Evaluation of Molecular Dynamics Performance on the Hybrid Cray XK6 Supercomputer. // Procedia Computer Science. 2012. V. 9. PP. 186-195.
3. *Семенов С.А.* Использование графических процессоров в молекулярно-динамическом моделировании. // Труды МАИ. 2013. №65. с. 1-6.
4. *Brenner D. W., Shenderova O. A., Harrison J.A.* A second-generation reactive empirical bond order (REBO) potential energy expression for hydrocarbons. // Journal of Physics: Condensed Matter. 2002. V. 14. PP. 783-802.
5. *Allen M. P.* Introduction to Molecular Dynamics Simulation Computational Soft Matter: From Synthetic Polymers to Proteins. //Lecture Notes, John von Neumann Institute for Computing. NIC Series. 2004. V. 23. PP. 1-28.
6. *Ревизников Д.Л., Семенов С.А.* Особенности молекулярно-динамического моделирования наносистем на графических процессорах. // Издательство "Новые технологии", "Программная инженерия". 2013. № 2. с. 31-35.

05.11.13

А.А. Симоненко

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», механический факультет, кафедра приборостроения, Санкт-Петербург, asnitmon@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИЗКОЧАСТОТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

В статье рассматривается способ построения градуировочных зависимостей между плотностью древесины и приведенной скоростью распространения акустических волн для различных пород древесины с оценкой погрешности определения плотности лесоматериалов с применением низкочастотного акустического метода свободных колебаний на примере сосны. Метод разработан в ходе работ по созданию методик измерений определения плотности древесины, реализованных в результате научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Главное назначение подобных методик - это усовершенствование, ускорение и облегчение таможенных операций в ходе выполнения контрольных функций.

Ключевые слова: *плотность древесины; акустический контроль; низкочастотные ультразвуковые измерения; экспорт лесоматериалов; частота собственных колебаний.*

Плотность древесины изменяется в широком диапазоне в зависимости от влажности (см. рис. 1), которая связана со временем жизненного цикла древесины от свежеспиленной до прошедшей специальную обработку (сушку). Характер изменения плотности от влажности определяется сложной структурой древесины. Условно весь диапазон плотности в зависимости от характера изменения влажности может быть разделен на две части: от 100% до 30% происходит потеря свободной влаги, ниже 30% происходит удаление связанной влаги с существенным изменением структуры материала [1].

Определение плотности лесоматериалов по результатам измерений массы и объема в полевых условиях при отсутствии специального весового оборудования процесс достаточно трудоемкий и длительный. В условиях ограниченного времени на проведение таможенного контроля стандартные методы определения плотности не применимы. В связи с этим возникла необходимость в разработке методов неразрушающего контроля лесоматериалов с минимальными трудозатратами без перемещения отдельных бревен для процедуры измерений [2]. Наиболее важным и сложным объектом контроля являются лесоматериалы, представляющие собой неокоренные и окоренные бревна длиной от 5 до 12 м, поскольку изменение их свойств в зависимости от времени и условий хранения возможны в достаточно широких пределах (начиная от свежеспиленных до высушенных). Пиломатериалы относятся к более узкому диапазону изменения плотности, поскольку в основном являются материалами, прошедшими искусственную сушку.

В ходе работы исследования и измерения проводились на образцах десяти пород древесины, представленных в исходном состоянии в виде неокоренных бревен длиной 5,5 м по 5-9 штук каждой породы из Ленинградской области и длиной порядка 1,3 м, по 3 штуки каждой породы из Сибири и по 1 штуке – с Юга. На образцах в исходном состоянии определялись масса, размеры, измерялись частоты собственных колебаний с помощью прибора "Звук-203М" и определялись значения скорости распространения акустических волн. Далее из образцов, представленных по 3 штуки, отбирались по одному бревну для ускоренной искусственной сушки в окоренном состоянии, остальные проходили естественную сушку с периодическим измерением всех выше указанных характеристик. По окончании серии измерений при сушке окоренных бревен, из оставшихся неокоренными образцов по одной штуке вырезались образцы в виде досок (модель пиломатериалов),

которые также проходили ускоренную искусственную сушку. Оставшиеся неокоренные бревна шести пород из Сибири (по 1 шт.) и далее проходили естественную сушку.

При подготовке окоренных бревен проводилась оценка массовой доли коры в общей массе неокоренного образца для возможности корректировки массы (плотности) древесины неокоренных бревен (Таблица 1). Эти данные использованы при построении градуировочных зависимостей.

Таблица 1 - Результаты определения размеров и массы неокоренных и окоренных образцов

Тип древесины	Масса, кг		Км*, %
	с корой	без коры	
Осина	10,750	9,765	9,2
Береза	12,220	10,735	12,2
Пихта	10,895	10,195	6,4
Ель	15,560	14,300	8,1
Сосна	16,140	15,600	3,3
Кедр	14,765	13,390	9,8

* Км – поправка, учитывающая массу коры в неокоренном бревне:

Км = (М с корой –М без коры) / М с корой

Для сушки окоренных бревен и досок образцы были укорочены до длины порядка 1,2 м. Полученные при этом обрезки - малогабаритные образцы были использованы для определения абсолютной и относительной влажности, а также плотности высушенных материалов.

В качестве справочных данных использовались значения плотности по данным таблицы "Коэффициент плотности древесины основных пород России в зависимости от влажности" [3] для различных пород древесины. Характер зависимости плотности от влажности приведен на рис. 1.

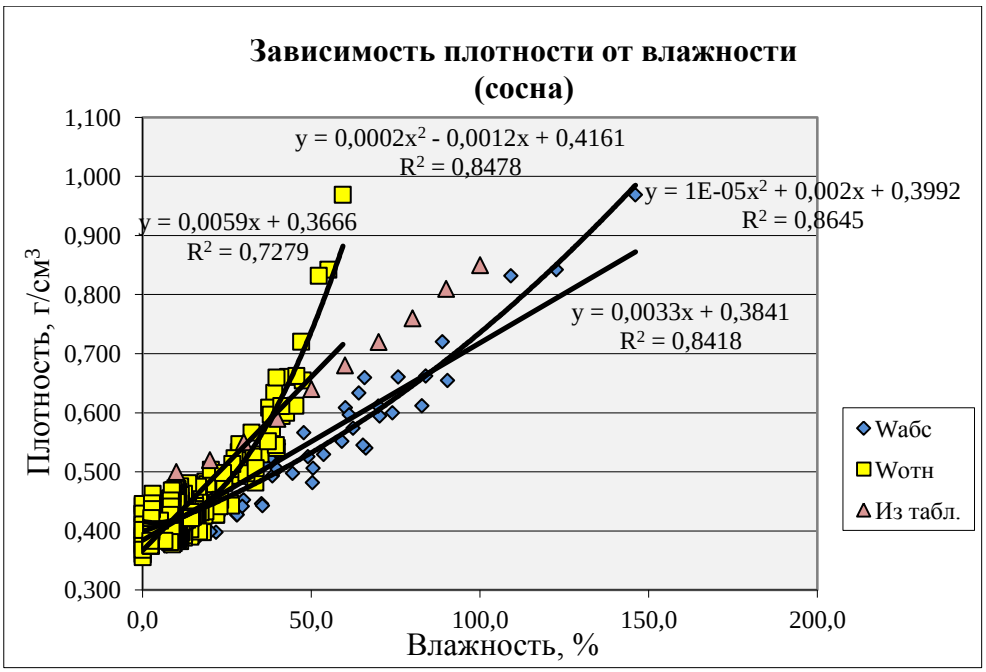


Рис. 1 – Зависимость плотности сосны от ее влажности

При проверке соответствия показателей точности результатов измерений и способов обеспечения достоверности измерений установленным метрологическим методом показатели точности определения плотности оценивались, как доверительные границы суммарной погрешности результатов измерений по РМГ 29-99 и вычислялись по формуле:

$$\Delta = \pm t_{\Sigma} S_{\Sigma}\,, \qquad (1)$$

где $t_{\Sigma} = \frac{\Theta + t S_{\text{ср}}}{S_{\Theta} + S_{\text{ср}}}$, $S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\text{ср}}^2 + S_{\text{ср}}^2}$

$\Theta = 1{,}1 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Theta_i^2}$ - неисключенная систематическая погрешность результата измерений при (P = 0,95);

$S_{\Theta} = \sqrt{\frac{1}{3}\sum_{i=1}^{n} \Theta_i^2}$ - средняя квадратическая погрешность суммы неисключенных систематических погрешностей при равномерном распределении;

$S_{cp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - y_{cp})^2}{n \cdot (n-1)}}$ - средняя квадратическая погрешность среднего арифметического результата измерений;

Θ_i – границы неисключенной систематической погрешности определения массы, длины, объема, скорости звука, сходимости и воспроизводимости;

y_i – результат i-ого наблюдения (единичное измерение);

$y_{\text{ср}}$ – среднее арифметическое значение результатов единичных измерений;

n –число единичных измерений.

Принимается, что:

- результаты единичных наблюдений плотности и скорости звука подчиняются нормальному закону распределения;

- для определения доверительных границ погрешности результатов принята доверительная вероятность P = 0,95.

Доверительные границы случайной погрешности результата измерений вычисляются как $t(P,n) \cdot S_{\text{ср}}$, где $t(P,n)$ - коэффициент Стьюдента для числа степеней свободы (n-1) и доверительной вероятности P (из таблицы распределения Стьюдента). В данном случае была принята вероятность P=0,95, число измерений n=10, t = 2,262.

Показатели точности определяются на основании серии результатов измерений при условиях:

- одним методом в одинаковых (неизменных) условиях – одно время, один оператор, по одному экземпляру использованных средств измерений, на одном и том же образце объекта исследований (сходимость);

- одним методом, в разных условиях - разное время, разные операторы, разные экземпляры используемых средств измерений, на одном образце объекта исследований (воспроизводимость).

Расчет плотности выполняется по уравнению регрессии, рассчитанному в результате обработки статистических данных, полученных на натурных образцах бревен, и представленному на рисунке 2.

При оценивании характеристик погрешности результатов измерений использовались в качестве действительного (опорного) значения плотности:

- плотности бревен (круглых лесоматериалов), вычисленной по результатам прямого измерения массы и расчета объема по методике ФР.1.27.2011.10629;

- плотности, вычисленной по результатам прямого измерения массы и расчета объема специально изготовленных из исходных объектов контроля образцов в виде брусков с прямоугольным сечением (пиломатериалов).

Для реализации низкочастотного акустического метода применительно к контролю заготовок и изделий из древесины использовались измеритель частот собственных колебаний типа "Звук-203М", регистрационный номер Госреестра СИ №18928-99, дальномер Leica Disto D3 лазерного типа производства Австрии, регистрационный номер Госреестра СИ № 38321-08 и влагомер серии GMH 3850 резисторного типа производства Германии, сертификат об утверждении типа СИ DE.C31.005.A №28512, регистрационный номер Госреестра СИ № 35323-07, являющиеся средствами измерений.

При измерениях могут быть использованы другие средства измерений утвержденного типа, имеющие аналогичные метрологические характеристики.

В результате обработки полученных данных построены уравнения регрессии «Плотность – скорость C_l» для двух интервалов характеристик, соответствующих характеру изменения плотности в зависимости от влажности. Рассчитаны коэффициенты корреляции, произведена оценка значимости уравнений регрессии в целом и отдельных параметров регрессии и коэффициента корреляции с помощью *F*-критерия Фишера и *t*-критерия Стьюдента. Обработка выполнена в программе *Excel* в пакете «Анализ данных». Для всех зависимостей установлены доверительные границы суммарной погрешности результатов измерений.

Например, для определения плотности сосны по результатам измерения ЧСК методом свободных колебаний получены следующие зависимости:

1) для бревен окоренных, неокоренных и пиломатериалов в диапазоне плотности ρ от 760 до 550 кг/м^3 при влажности $W_{абс}$ от 80 до 30 % (соответственно $W_{отн}$ от 45 до 25 %)

$$\boldsymbol{\rho = -0{,}288\ Cl + 1827};$$

Доверительные границы суммарной погрешности результатов измерений определения плотности для P=0,95 определяются по формуле 1.

Неисключенная систематическая погрешность результата измерений при (P = 0,95) определяется по формуле

$$\Theta = 1{,}1 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Theta_i^2} = 1{,}1 \cdot \sqrt{\Theta_1^2 + \Theta_2^2 + \Theta_3^2} = 1{,}1 \cdot \sqrt{1^2 + 0{,}2^2 + 0{,}3^2} = 1{,}2\%$$

Среднеквадратическая погрешность суммы неисключенных систематических погрешностей при равномерном распределении определяется по формуле

$$S_\Theta = \sqrt{\frac{1}{3}\sum_{i=1}^{n} \Theta_i^2} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (\Theta_1^2 + \Theta_2^2 + \Theta_3^2)} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (1^2 + 0{,}2^2 + 0{,}3^2)} = 0{,}6\%;$$

Интервал для среднеквадратического значения случайной составляющей погрешности $S_{ср}$ определяется по формуле

$$S_{\text{ср}} = \frac{\Delta\rho_{\text{дов}}}{\rho - t(P,n)} \times 100 = \frac{45}{(760 \ldots 550) - 2{,}16} \times 100 = (2{,}7 \ldots 3{,}8)\%$$

где $\Delta\rho_{\text{дов}}$- ширина доверительного интервала для уравнения регрессии "$\rho - C_l$" ($\Delta\rho_{\text{дов}}$ = 45 кг/м^3).

Таким образом, $\boldsymbol{S_{ср}/S_\Theta \geq 4{,}5}$ и, соответственно, доверительные границы суммарной погрешности результатов измерений определения плотности всегда определяются случайной составляющей погрешности, то есть шириной доверительного интервала уравнения регрессии $\boldsymbol{\Delta\rho = \pm 45}$ ***кг/м^3, что составляет*** $\boldsymbol{\Delta\rho/\rho = 5{,}9}$ ***% при*** $\boldsymbol{W_{абс} = 80}$ ***% и*** $\boldsymbol{\Delta\rho/\rho = 8{,}2}$ ***% при*** $\boldsymbol{W_{абс} = 30}$ ***%,***

2) для пиломатериалов с плотностью ρ от 550 до 450 кг/м^3 при влажности $W_{абс}$ от 30 до 5% (соответственно $W_{отн}$ от 27 до 5 %)

$$\boldsymbol{\rho = -0{,}112\ C_l + 1015};$$

− доверительные границы погрешности для P=0,95 $\Delta\rho$·= ± 20 кг/м^3, что составляет $\Delta\rho/\rho$=3,6 % при $W_{абс}$=30 % и $\Delta\rho/\rho$=4,4 % при $W_{абс}$=5 %.

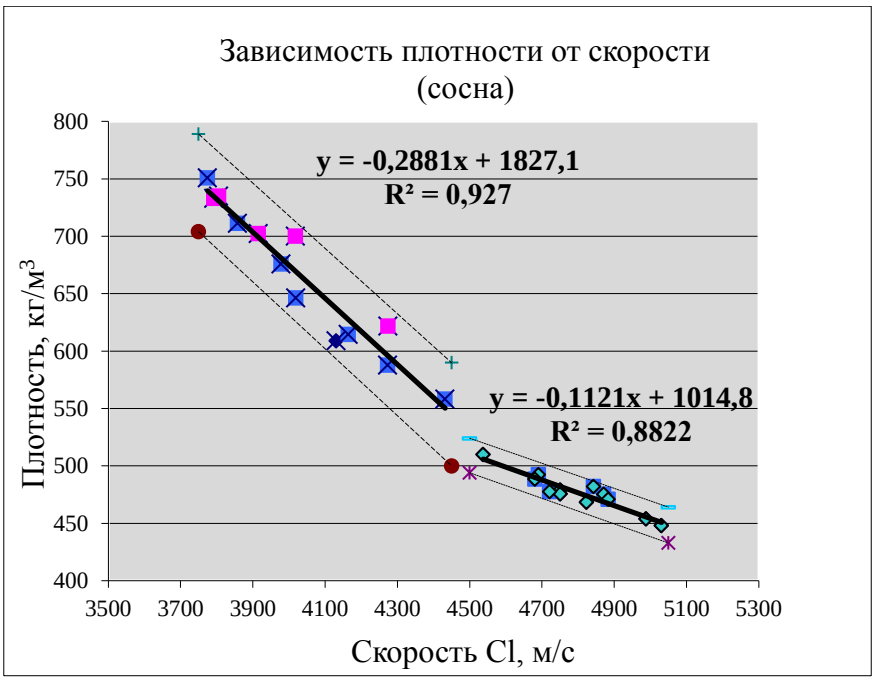


Рис. 2 – Зависимость плотности сосны от скорости распространения акустических волн

Таблица 2 – Уравнения для расчета плотности

Тип древесины	Уравнение для расчета плотности лесо-пиломатериалов по значениям C_l при влажности W, %		
	От 10 до 30	*От 30 до 80*	
	Бревна окоренные, пиломатериалы, кг/м^3		*Бревна неокоренные, кг/м^3*
Сосна	$\rho = (-0{,}112\ C_l + 1015) \pm 20$	$\rho = (-0{,}288\ C_l + 1827) \pm 45$	$\rho = (-0{,}288\ C_l + 1827) \pm 45$

В результате аттестации установлено, что методика измерений соответствует предъявляемым к ней метрологическим требованиям и обладает следующими основными метрологическими характеристиками: диапазон определения плотности лесо- и пиломатериалов из березы, ольхи, ели, сосны, осины, пихты, кедра, бука, граба, дуба, ясеня при длине круглых лесоматериалов (бревна) и пиломатериалов (брус и доска) до 12 м, с массовой долей влаги от 5 до 100%, составляет от 450 до 1110 кг/м^3, границы интервала, в котором с вероятностью 0,95 находится относительная погрешность определения плотности, не превышают ± 10%.

Список литературы

1. *Уголев, Б.Н.* Древесиноведение и лесное товароведение: учебник для студ. сред. проф. Образования − 4-е изд., стер.− М.: Издательский центр «Академия», 2011.−272с.
2. *Симоненко, А.А., Коварская, Е.З.* К вопросу о таможенном контроле плотности древесины / Вестник Белорусско-Российского университета. – 2013. – № 3 (40) – С. 67-73.
3. *Сенотрусова, С.В.* Таможенный контроль лесных товаров: учебное пособие / С.В. Сенотрусова, Е.И. Андреева. Под общ. редакцией С.В. Сенотрусовой; Всемирный фонд дикой природы (WWF России) / — М., 2012. — 111 [1] с.

05.13.01

Э.С. Соколова, Д.В. Дмитриев, А.И. Пашковский

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева,
институт радиоэлектроники и информационных технологий,
кафедра информатики и систем управления,
Нижний Новгород, essokolova@mail.ru

МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МНОГОРЕЖИМНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВ СОСТОЯНИЙ

Предлагается подход к решению проблемы эффективной организации системы диагностирования сложных многофункциональных объектов, включающий вопросы оптимизации контролепригодности, периодичности контроля, сочетания встроенной и внешней диагностики.

Ключевые слова: *многорежимный объект, система управления, граф состояний, коэффициент готовности, контрольная точка.*

Разработка сложных многофункциональных технических объектов выдвигает на первый план решение задач обеспечения их работоспособности в разных режимах эксплуатации. При невозможности натурных испытаний применяется компьютерное моделирование, позволяющее прогнозировать поведение системы уже в процессе проектирования, оценить степень влияния параметров системы на выходные характеристики, получить информацию о надежности системы и различных ее подсистем. Оценка результатов моделирования поведения таких систем позволяет детально проработать вопросы определения требуемой надежности составляющих системные блоки элементов [1]. Моделирование позволяет оценить чувствительность выходных сигналов к отклонениям характеристик отдельных элементов системы и показать необходимость введения резервирования или изменения элементной базы для достижения требуемого уровня надежности всего изделия.

Другая составляющая обеспечения надежности – контроль и диагностика его технического состояния. В проект включаются схемные решения, которые позволят определить техническое состояние системы в процессе ее функционирования, локализировать дефекты, и, при возможности, самонастроить ее работу. На примере системы управления беспилотными летательными аппаратами (БЛА) многорежимного использования рассмотрим комплексное решение вопросов организации встроенной и внешней диагностики.

Функционирование такого рода объектов разбивается на последовательные во времени режимы, а именно: контроль объекта встроенной диагностикой, устанавливающий признак исправности в коде его состояния; начальная подготовка, заключающаяся в обработке массивов информации вычислительными модулями; дежурный режим работы после выдачи сигнала готовности к приему полетного задания; автономная работа, когда реализуется обмен с абонентами, а также выполняются программы подсистем стабилизации, навигации, комплексирования, управления траекторным движением.

При этом с заданной периодичностью осуществляется диагностирование технического состояния объекта при проведении процессов вывода БЛА в дежурный режим аппаратурой подготовки применения, поддержании его в рабочем режиме до момента применения. Контрольно-проверочные работы проводятся внешними средствами диагностики при его хранении до момента ввода в эксплуатацию.

Исследуемые объекты относятся к объектам периодического использования. В связи с этим у разработчиков есть возможность повлиять на объект диагностирования (ОД) с целью достижения наибольшего эффекта по критерию организации системы диагностирования.

При проектировании СД выбирается показатель, характеризующий эффективность функционирования ОД и влияющий на организацию процесса взаимодействия элементов СД в разных режимах функционирования. При этом решается комплекс задач, среди которых: определение рационального сочетания встроенных и внешних технических средств диагностирования; оптимизация периодичности контроля; разработка тестов для диагностирования дискретных объектов; назначение контрольных точек (КТ) для снятия диагностической информации.

Для решения задачи обеспечения контролепригодности назначением КТ предлагается использовать диагностическую модель, учитывающую статистические и динамические соотношения между переменными значениями и параметрами системы, описывающую поведение системы в качественных терминах, таких, как причинность или правила «*if-then*». Модель представляется графом причинно-следственных связей, вершины которого представляют диагностические признаки и дефекты, дуги – связи между ними. Для этого совместно с разработчиками системы на этапе ее проектирования проводится процедура дискретизации событий, заключающихся в возникновении дефектов. В работах [2,3] решается задача обеспечения заданной глубины диагностирования назначением диагностических параметров, позволяющим сократить время поиска дефекта и восстановления ОД. В сложных аналого-цифровых объектах, функционирование которых во времени выполняется в различных режимах, имеющих собственную систему встроенной и внешней диагностики, целесообразно назначать КТ в каждом режиме работы ОД, а затем варьировать полученными значениями при совместном рассмотрении последовательных режимов его работы.

Эффективным критерием организации взаимодействия элементов СД таких объектов является показатель готовности ОД, определяющий вероятность отсутствия дефекта в произвольный момент времени при нахождении ОД в различных режимах функционирования:

$$K_{од} = \lim_{t \to \infty} P_k(t),$$

где $P_k(t)$ – суммарная вероятность пребывания ОД в произвольный момент времени в подмножестве k состояний, включающем в себя все режимы его работы (дежурные и рабочие), когда в ОД отсутствуют дефекты.

Для определения $K_{од}$ многорежимного объекта следует выделить отдельные режимы функционирования и определить структуру возможных переходов из одного режима в другой. Структура функционирования многорежимного ОД на примере систем управления БЛА представлена укрупненным графом состояний процесса переходов на рис.1:

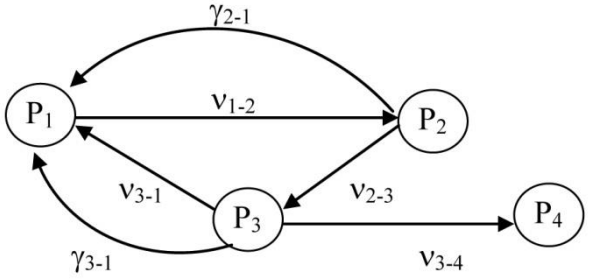


Рис. 1 - Граф переходов состояний

где P_1, P_2, P_3, P_4 – соответственно контроль, начальная подготовка, дежурный и автономный режимы работы; ν_{i-j} – интенсивность перехода из i-го в j-й режим (величина, обратная времени T_i работы ОД в i-м режиме) в случае функционирования без обнаружения дефектов; γ_2, γ_3 - интенсивность перехода из i-го в j-й режим при возникновении дефекта и повторном режиме контроля исправности всего объекта. Отметим, что автономный режим –

использование объекта по назначению - является поглощающим состоянием. При этом $\nu_{3-4} >> \nu_{3-1}$.

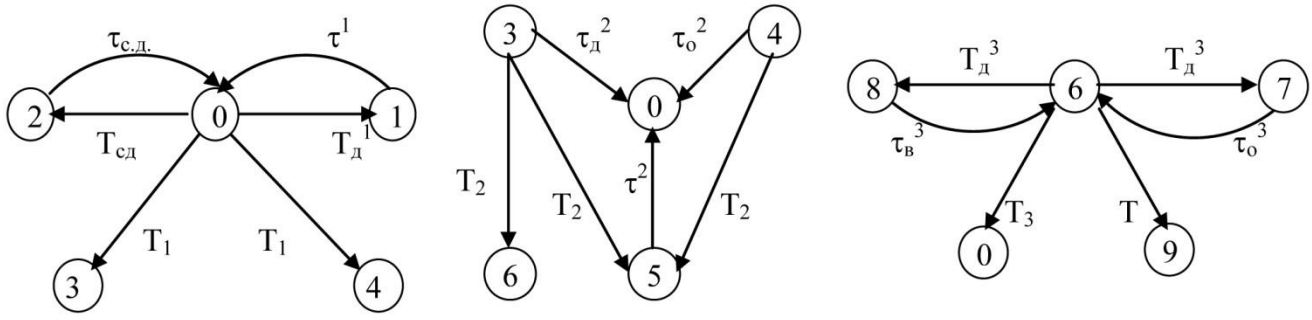
Определение коэффициента готовности $K_{од}$ как вероятности исправного состояния независимо от режима работы не имеет практического интереса, так как в этом случае получим усредненное значение $K_{од}$ для временного участка-режима. Целесообразно определить $K_{од}$ для каждого режима функционирования с учетом взаимосвязей режимов, а общий показатель готовности рассчитать следующим образом:

$$K_{од} = \sum_{j=1}^{n} \frac{T_i}{\sum T_i} * K_{од_i},$$

где T_i - время использования ОД в i-м режиме, $\sum T_i$ - общее время функционирования при последовательном выполнении режимов (отношение данных величин определяет долю времени работы ОД в i-м режиме), n – суммарное количество исправных состояний ОД во всех режимах.

Моделирование процесса функционирования позволяет варьировать показателями безотказности, контролепригодности, ремонтопригодности, периодичности, влияющими на готовность ОД, оптимизируя их значения в соответствие заданным критериям.

Определим состояния ОД в каждом режиме (поглощающий режим автономной работы учитывать не будем) и построим соответствующие графы переходов (рис.2).



а) контроль б) начальная подготовка в) дежурный режим

Рис. 2 – Граф переходов состояний для разных режимов функционирования

При этом выделены следующие состояния:

0 – режим встроенного контроля для определения состояния ОД; 1 – средствами встроенного контроля обнаружен дефект, проводится диагностирование; 2 – отказ средств контроля, их самодиагностика и восстановление; 3 – режим начальной подготовки, ОД исправен; 4 – режим начальной подготовки, ОД содержит не обнаруженные дефекты; 5 – отказ ОД в режиме начальной подготовки, восстановление средствами внешней диагностики; 6 – дежурный режим работы, дефекты отсутствуют; 7 – диагностирование дежурного режима, дефекты отсутствуют; 8 – в результате диагностирования дежурного режима обнаружены дефекты, которые устраняются; 9 – режим автономной работы, являющийся поглощаемым режимом эксплуатации.

Параметры состояний: T_1, T_2, T_3 – продолжительности работы ОД в трех режимах, являющиеся постоянными величинами при нормальном (без сбоев и отказов) завершении режимов; $T_{сд}$ – время наработки на отказ встроенных средств контроля в режиме 1; $\tau_{сд}$ – время восстановления средств контроля; $T_д^1$ – среднее время до обнаружения дефекта; τ^1 – среднее время поиска и устранения дефекта; $\tau_д^2$ – среднее время до возникновения дефекта в режиме 2; $\tau_о^2$ – среднее время проявления уже имеющихся дефектов в режиме 2; τ^2 – среднее время диагностирования отказа в режиме 2 средствами внешней диагностики; $T_д^3$ – периодичность диагностирования в дежурном режиме; $\tau_о^3$ – среднее время

диагностирования в отсутствии дефекта; $\tau_в^3$ – среднее время диагностирования с восстановлением при наличии дефекта; T – переход в автономный режим ($T>>T_З$).

Для каждого режима функционирования определим значение $К_{одi}$. Составим по графам переходов системы дифференциальных уравнений и решим их, предположив экспоненциальный закон распределения случайных величин, наиболее часто используемый на практике при решении инженерных задач. Аналитические зависимости $К_{одi}$ не имеют практической ценности из-за их громоздкости. Решение системы дифференциальных или алгебраических уравнений для установившегося режима осуществляется с помощью известных математических пакетов, например, *MatLab*. Меняя значения параметров, влияющих на показатели готовности $К_{одi}$, используя эвристические процедуры, совместно решая задачу обеспечения контролепригодности назначением КТ, можно спроектировать эффективный вариант системы диагностирования сложного многорежимного объекта использования. Дальнейшее направление в разработке вопросов синтеза эффективных систем диагностирования предполагает использование имитационного моделирования, которое позволит предсказать наиболее вероятное поведение ОД, что является наиболее существенным для объекта одноразового использования.

Список литературы

1. *Беннеттс Роберт Дж.* Проектирование тестопригодных логических схем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990.- 176с.
2. *Соколова Э.С.* Об одном алгоритме диагностирования одиночных дефектов // Журнал Стандарты и качество. Методы менеджмента качества. – 2001. – №7. – С.28-30.
3. *Соколова Э.С., Степаненко М.А.* Разработка алгоритма локализации дефектов на назначенной совокупности контрольных точек // Журнал Контроль. Диагностика. – 2006. - №9. – С.41-44.

05.13.01

Э.С. Соколова, С.Н. Капранов, Т.И. Балашова

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева,
институт радиоэлектроники и информационных технологий,
кафедра информатики и систем управления,
Нижний Новгород, serg.kapranov@gmail.com

ПОИСК ПОЛНОГО МНОЖЕСТВА МИНИМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Предлагается количественная оценка надежности сети, учитывающая вероятности отказов каналов связи и топологию сети. Показано, что наибольшее влияние на надежность оказывают минимальные разрезы граф-модели сети. Разработан алгоритм поиска полного множества минимальных разрезов сети, основанный на алгоритме Штор-Вагнера.

Ключевые слова: *надежность сети, минимальный разрез сети, алгоритм Штор-Вагнера.*

В настоящее время на предприятиях являются актуальными задачи: построения или модернизации вычислительных систем и комплексов с целью объединения информационных процессов; создания единого фундамента для архитектуры информационно-вычислительной сети предприятия, обеспечивающего работу корпоративных приложений и сервисов; обеспечения экономической эффективности за счет интеграции разрозненных подсистем.

Проектирование архитектуры информационных сетей, ее оптимизация с точки зрения надежности и живучести, а также обоснование и расчет соответствующих характеристик являются наиболее важными и в то же время сложными задачами [1].

Одним из важнейших показателей надежности сетей передачи данных является их связность. В данной работе рассмотрим метод оценки топологии сети с позиций ее связности. Будем считать сеть функционирующей, если все абоненты сети связаны друг с другом. Связность сети в процессе мониторинга ее работы может существенно меняться. Существуют различные оценки связности граф-моделей [2], описывающие топологию сети. В задачах проектирования архитектур сетей с учетом требований надежности передачи данных используется либо реберная, либо вершинная связность, характеризующая наличие множества маршрутов передачи данных между узлами сети. В данной работе решаются вопросы проектирования и оценки топологии сети, поэтому будем исследовать реберную связность граф-модели, считая узлы сети абсолютно надежными.

Минимальным разрезом сети является минимальное множество каналов, отказ которых приводит к разделению сети на две несвязные компоненты, между которыми нарушена передача данных. Такой отказ каналов может быть вызван рядом причин: их физический обрыв, перегрузка канала с ограниченной пропускной способностью или задержка доставки пакетов, а также ошибки управления транзитными сетями.

Представим модель топологии информационно-вычислительной сети в виде неориентированного графа *G* без петель, построенного на *n* вершинах $V = \{v_1,\ldots,v_n\}$ и *m* ребрах $E = \{e_1,\ldots,e_m\}$. Каждая вершина v_i, $i = \overline{1, n}$ графа *G* соответствует некоторому узлу сети, а ребра e_j, $j = \overline{1, m}$ графа представляют собой каналы передачи данных между узлами сети. Каждому ребру поставим в соответствии значение p_j вероятности его присутствия (надежности). Вероятность отказа ребра, обусловленная обрывом передачи данных, соответственно равна $q_j=1-p_j$.

Под надежностью сети будем понимать вероятность того, что в соответствующей граф-модели между любыми двумя вершинами будет существовать хотя бы один путь. Для

количественной оценки надежности сети будем использовать вероятность связности *R* всех вершин $v_1,\ldots,v_n$ графа, т.е. вероятность того, что в любой момент времени между каждой парой вершин графа существует хотя бы один путь при заданных вероятностях присутствия ребер.

Для оценки надежности сети, основанной на анализе связности, можно использовать комбинаторно-переборные методы расчета [2], при этом получение точного решения ограничено размерностью сети. Для сетей большой размерности актуальна разработка алгоритмов, позволяющих за доступное время оценить связность сети.

Рассмотрим задачу проектирования топологии сети с заданными требованиями по надежности доступа к ресурсам, зависящей от связности элементов сети. Для оценки надежности сетевой топологии следует определить все минимальные разрезы граф-модели, представляющие наиболее уязвимые места в проектируемой сети. В качестве критерия оценки надежности сети будем использовать вероятность связности всех ее узлов.

Пусть надежность p_i каждого ребра e_i не зависит от индекса i, $i=\overline{1,m}$, т.е. все каналы будем считать равнонадежными. Тогда вероятность связности будет вычисляться по формуле:

$$R(G,p)=1-\overline{R(G,p)}, \tag{1}$$

где $\overline{R(G,p)}$ - вероятность того, что граф *G* несвязен.

В свою очередь, вероятность несвязности графа может быть вычислена следующим образом:

$$\overline{R(G,p)}=\sum_{i=1}^{m} C_i * q^i * p^{m-i}, \tag{2}$$

где C_i – количество разрезов кратности *i*, делящих исходный граф на несколько несвязных подграфов; *q* – вероятность отказа ребра; *m* – количество ребер в графе.

Так как вероятность отказа канала связи имеет значение, близкое к единице, вкладом множителя p^{m-i} в значение выражения (2) можно пренебречь. Тогда формула (2) принимает вид:

$$\overline{R(G,p)}\approx\sum_{i=1}^{m} C_i * q^i = C_1 * q^1 + C_2 * q^2 + \ldots + C_m * q^m \approx C_S * q^S \tag{3}$$

Исходя из того, что $q^k >> q^{k+1}$, в значение выражения (3) основной вклад вносит первое ненулевое слагаемое $C_S * (q)^S$, где C_S – количество минимальных разрезов, кратность которых равна *s*. Следующие ненулевые слагаемые, у которых разрез кратности больше *s*, вносят существенно меньший вклад в значение вероятности несвязности графа и ими можно пренебречь.

Тогда вероятность связности графа (1) принимает вид:

$$R(G,p)\approx 1-(C_S * q^S), \tag{4}$$

и для ее расчета необходимо определить полную совокупность минимальных разрезов графа.

В результате исследований разработан алгоритм определения полного множества C_S минимальных разрезов графа, включающий модификацию известного алгоритма Штор-Вагнера [3], с помощью которого находится очередной минимальный разрез графа.

Введем следующие обозначения. Пусть $S_i=\{e_{i1},\ldots,e_{ik}\}$ – *i*-й минимальный разрез графа *G*, $i=\overline{1,C_S}$; $k=|S_i|$ – мощность минимального разреза, т.е. количество ребер, образующих минимальный разрез; $S=\{S_1,\ldots,S_{C_S}\}$ – множество минимальных разрезов графа *G*, где $C_S\geq 1$; $U_S=S_1\cup\ldots\cup S_{C_S}$ – множество ребер, образующих все минимальные разрезы графа *G*; $U_M\subset U_S$ – множество ребер, полученных на *i*-й итерации, которые входят в уже найденные минимальные разрезы и будут помечены, т.е. соответствующий элемент матрицы смежности

графа *G* будет изменен*;* H^+ – множество всех комбинаций ребер, входящих в минимальные разрезы*;* H^- – множество комбинаций ребер, которые были исследованы.

Граф *G* представляется математическим эквивалентом – матрицей смежности *C*, где элемент

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если существует ребро между парой вершин } (v_i, v_j) \\ 0, \text{в противном случае} \end{cases}$$

Пусть в матрице смежности *C* графа *G* все ребра имеют вес $w_{e_t} = 1, \quad t = \overline{1,m}$.

Алгоритм определения полного множества минимальных разрезов графа состоит из следующих шагов:

1. На первом шаге множества $U_M, \mathrm{U_S}, \mathrm{S}$ примем равными нулевым: $U_M = \varnothing, \mathrm{U_S} = \varnothing, \mathrm{S} = \varnothing$.
2. С помощью алгоритма Штор-Вагнера для графа *G* получаем минимальный разрез S_1, представляющий собой подмножество множества ребер *E,* запоминаем его мощность $k=|S_1|$, а также суммарный вес ребер $W = \sum_{i \in S_1} w_i$, который в данном случае равен *k.* Формируем множество $U_S = S_1 = \{e_{i1}, \ldots, e_{ik}\}$, содержащее ребра минимального разреза. Включаем минимальный разрез S_1 в множество минимальных разрезов $S: \ S = \{S_1\}$
3. Сохраняем копию C^* матрицы смежности *C,* т.е. переходим к анализу исходного графа *G.*
4. Формируем множество H^+, включающее все возможные комбинации ребер из множества $\mathrm{U_S} = \{e_{i1}, \ldots, e_{iq}\}$, т.е. получаем множество $H^+ = \{\{e_{i1}\}, \{e_{i2}\}, \ldots, \{e_{iq}\}, \{e_{i1}, e_{i2}\}, \{e_{i1}, e_{i3}\}, \ldots, \{e_{i1}, \ldots, e_{iq}\}\}$. Пусть имеется *r* таких комбинаций, где $r = \sum_{j=1}^{q} \frac{q!}{(q-j)!\, j!}$.
5. В множество $U_M=\{e_{i1}\}$ включим первую комбинацию ребер множества H^+, исключив ее из H^+. Если множество H^+ пустое, то переходим к шагу 14.
6. В матрице смежности C^* графа G^* элементам, соответствующим ребрам множества U_M, присваиваем вес, равный 2.
7. С помощью алгоритма Штор-Вагнера для графа G^* получаем минимальный разрез $S^*, \ S^* \subset E$.
8. Вычисляем мощность полученного минимального разреза $k^*=|S^*|$ и суммарный вес его ребер $W^* = \sum_{i \in S^*} w_i$.
9. Если $k^*>k$ или $W^* > W$ то переходим к шагу 3.
10. Если полученный минимальный разрез S^* присутствует в множестве минимальных разрезов *S,* то переходим к шагу 3.
11. Включаем минимальный разрез S^* в множество минимальных разрезов *S.*
12. Дополняем множество U_S новыми ребрами из множества S^*, $U_S = U_S \cup S^*$.
13. Переходим к шагу 3.
14. Сформирован список минимальных разрезов S, $S = S \cup S^*$.

Определив список минимальных разрезов, по формуле (4) определяем значение вероятности связности, характеризующей надежность топологии сети передачи данных. Таким образом, при проектировании архитектуры сети связи мы можем оценить разные топологии сети по критерию надежности.

Отметим, что предложенный выше алгоритм позволяет достаточно быстро получить оценку надежности топологии сетевой структуры. Быстродействие алгоритма имеет практический интерес, когда полученная оценка надежности работоспособной части топологии сети (в моменты пиковой нагрузки на сеть, в случаях обрывов каналов) может быть использована при управлении сетевыми ресурсами и потоками данных, например, при мониторинге программно-конфигурируемых сетей с целью повышения их производительности.

Список литературы

1. *Артамонов Г.Т., Тюрин В.Д.* Топология сетей ЭВМ и многопроцессорных систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 248 с.
2. *Попков В.К.* Математические модели связности. - Новосибирск: Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2006. - 490 с.
3. Нахождение минимального разреза. Алгоритм Штор-Вагнера. // URL: http://e-maxx.ru/ (дата обращения: 18.09.2013).

05.13.01

А.М. Станкевич

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики, Москва, stan@inmas.ru

ТИПОВАЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В статье представлен анализ типовой эксплуатационно-технической документации, на основании чего выделяются данные, которые должны поддерживаться в актуальном состоянии с целью обеспечения решения задач планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту авиационной техники.

Ключевые слова: *техническое обслуживание и ремонт, авиационная техника, типовая эксплуатационно-техническая документация.*

Необходимым условием эксплуатации изделий авиационной техники (АТ) таких как воздушные суда (ВС) гражданской авиации, является поддержание их лётной годности. Это обеспечивается, в частности, своевременным выполнением технического обслуживания и ремонта (ТОиР) изделий АТ. Таким образом, для авиакомпаний актуальными являются задачи, связанные с планированием работ ТОиР. Это, в свою очередь, влияет на решение задачи расстановки самолётов на рейсы в расписании полётов, что, в конечном итоге, влияет на эффективность выполнения авиаперевозок.

Планирование ТОиР АТ базируется на правилах, которые представлены в эксплуатационно-технической документации (ЭТД) на тип изделия или на конкретный экземпляр изделия АТ, с одной стороны, и на потенциале самой обслуживающей организации — с другой.

Для выполнения планирования ТОиР используются следующие виды информации:

- Информация о правилах выполнения ТОиР на изделии АТ в зависимости от его состояния;
- Информация о состоянии изделия АТ;
- Информация о наличных ресурсах организации, выполняющей ТОиР:

Информация о правилах выполнения ТОиР формируется разработчиком изделия. Данная информация формируется, как правило, на тип изделий и, поэтому, относится к типовой ЭТД.

Информация о состоянии изделия АТ регистрируется эксплуатантом в процессе эксплуатации изделия АТ, а также в процессе выполнения работ ТОиР на данном изделии. Данная информация относится к конкретному экземпляру изделия (экземпляру с определённым заводским номером) и, поэтому, относится к пономерной информации.

Информация о наличных ресурсах организации, выполняющей ТОиР, формируется на основе нормативно-справочной информации самой организации и отражает её потенциальные ресурсные возможности для выполнения работ ТОиР (наличные ресурсы).

Рассмотрим более подробно правила выполнения ТОиР.

Правила ТОиР регламентируют следующие моменты:

- когда и какая работа должна быть выполнена;
- каким способом выполняется работа;
- какие ресурсы и в каком объёме необходимы для выполнения работы.

Правила ТОиР представлены в ЭТД производителя, которая является основным регламентирующим документом на проведение работ ТОиР.

Основная информация, необходимая для планирования работ ТОиР, содержится в следующих видах ЭТД, предоставляемой разработчиком:

- Регламент технического обслуживания;
- Руководство по технической эксплуатации.

Регламент технического обслуживания является основным документом, определяющим объекты обслуживания (системы, подсистемы, изделия), **объём и периодичность** выполняемых на них работ в соответствии с принятой системой обслуживания основного заказчика [1].

Руководство по технической эксплуатации представляет собой документ, содержащий техническое описание и инструкцию по эксплуатации, куда должны включаться все сведения, необходимые для **правильной эксплуатации** (использования, траспортирования, хранения и **технического обслуживания**) авиационной техники и покупных изделий для неё [1]. В руководстве по технической эксплуатации, помимо прочего, содержится информация о **ресурсах и/или сроках службы изделия АТ**, а также информация о **технологии выполнения работ ТОиР с указанием необходимых людских и материальных ресурсов**.

Регламент технического обслуживания содержит следующую информацию, относящуюся к решению задачи планирования работ ТОиР:

- Пункт регламента — пункт Регламента (номер объекта обслуживания по ГОСТ 18675);
- Наименование объекта обслуживания и работы — наименование объекта (системы, агрегата) обслуживания и краткое содержание работы;
- Количество на самолет — количество на самолет одноименных объектов обслуживания;
- Код работы — код работы, которую необходимо выполнить при техобслуживании данного объекта (системы, узла, агрегата);
- Период работы — периодичность выполнения работ, в единицах наработки и/или календарном времени.
- Номер зоны или лючка — место расположения объекта обслуживания на самолете, в соответствии с делением самолета на зоны.
- Примечание — приводится дополнительная информация к пункту регламента.

Данная информация является основой для решения задач календарного планирования работ ТОиР.

В свою очередь, в руководстве по технической экспулатации также содержится часть информации, относящейся к календарному планированию работ ТОиР, связанных с выработкой ресурсов и/или истечением сроков службы изделия АТ. К этой информации относится:

- Назначенный (или общий) технический ресурс – суммарная наработка изделия, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от состояния изделия.
- Общий срок службы – суммарная календарная продолжительность эксплуатации изделия до предельного состояния, при котором ремонт его технически невозможен или экономически нецелесообразен.
- Межремонтный ресурс – наработка изделия между двумя последовательными плановыми капитальными ремонтами.
- Ресурс до первого ремонта — наработка нового изделия до первого капитального ремонта.
- Межремонтный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации изделия между двумя последовательными плановыми капитальными ремонтами.
- Срок службы до первого ремонта – календарная продолжительность эксплуатации нового изделия до первого планового капитального ремонта.

Для отдельных экземпляров изделий данные о ресурсах и сроках службы могут отличаться от данных на тип изделий АТ, приводимых руководстве по технической эксплуатации. В этом случае, данная информация приводится в формуляре экземпляра изделия. Для комплектующих изделий документом, в котором отражаются ресурсы и сроки службы, является паспорт на данной изделие.

В то же время, руководство по технической эксплуатации содержит информацию, обеспечивающую планирование ресурсов, необходимых для выполнения работ ТОиР, а именно:

- Номер технологической карты – уникальный код технологической карты, отражающей последовательность выполнения технологических операций;
- Пункт регламента обслуживания – номер пункта регламента, к которыму относится данная технологическая карта;
- Наименование работы;
- Трудоёмкость – отражает нормативные значения необходимых для выполнения работы людских ресусов;
- Содержание операции и технические требования (ТТ) – описывает технологию выполнения работы и ограничения, которые должны быть удовлетворены при выполнении работы;
- Работы выполняемые при отклонениях от ТТ – описывает работы, которые должны быть выполнены при отклонениях от заданных ограничений;
- Контроль – отражает необходимость контроля выполнения работы, что в свою очередь, требует привлечения ресурса контролёра (инспектора);
- Контрольно-проверочная аппаратура (КПА) – необходимая для выполнения работы номенклатура и количество контрольно-проверочной аппаратуры;
- Инструмент и приспособления – необходимые для выполнения работы инструменты и приспособления и их количество;
- Расходные материалы – необходимая для выполения работ номенклатура расходных материалов и их нормативное количество.

Необходимо отметить, что информация о нормативной трудоёмкости и нормах расхода материалов должна определяться организацией, выполняющей ТОиР. Как правило, данная информация не предоставляется производителем. А если и предоставляется, то эти значения носят рекомендательный характер.

Итак, типовая ЭТД содержит необходимый набор информации, на основе которой могут решаться задачи календарного планирования и планирования потребности в ресурсах для работ ТОиР АТ. Соответственно, в структуре процессов, обеспечивающих решение задач, связанных с ТОиР АТ, должны быть предусмотрены процессы, обеспечивающие создание и поддержание в актуальном состоянии указанной информации.

Список литературы

1. ГОСТ 18675-79. Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия на неё. М.: Издательство стандартов, 1985.

05.13.18

В.А. Столярчук

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
Москва, vladimir.stolyarchuk@gmail.com

КОНЦЕПЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МКЭ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В работе представлено описание концепции реализуемой открытой учебной программной системы для подготовки разработчиков CAE – приложений.

Ключевые слова: *CAE-система, алгоритмы метода конечных элементов, открытое программное обеспечение.*

Одной из актуальных задач высшей школы считается подготовка специалистов, владеющих современными программными комплексами инженерного анализа. Этому сейчас уделяется повышенное внимание, тем более, что представители фирм хотят, чтобы как можно больше специалистов и выпускников вузов работали на своих предприятиях именно с их программным обеспечением.

Разработка учебных программ для освоения МКЭ и комплексов, построенных на основе МКЭ, началась давно. Можно, например, сослаться на одну из ранних работ [1]. Сейчас этой проблеме уделяется всё большее внимание [2].

Но очень мало занимаются вопросами, связанными с подготовкой специалистов-разработчиков CAE-систем. Причина заключается в том, что эта задача является более сложной для учреждений высшей школы, тем более что предприятия-разработчики не склонны открывать секреты своих программ, которые являются коммерческой тайной, их ноу–хау.

Поэтому для обучения специалистов-разработчиков приходится создавать учебные системы МКЭ с функциональными свойствами коммерческих комплексов, но имеющие упрощенные алгоритмы системного и прикладного программного обеспечения. Самое главное требование к ним – они должны быть системами с открытым исходным кодом. Использование таких возможностей нашло своё отражение и в литературе [3],[4]. Естественно, что наибольшие успехи достигнуты а среде Linux [5]. В МАИ на кафедре «Прикладной информатики» много лет развивается и успешно эксплуатируется учебная CAE Sigma [6] с открытым исходным кодом, разработанная под Windows.

Следующий этап её развития обусловлен методическими задачами, а также необходимостью обучения студентов на новейших платформах с использованием современных технологий.

Новая концепция системы должна обеспечить большее удобство при замене любого модуля другим с аналогичным интерфейсом, добавление модулей, реализующих любой новый функционал, возможность программировать модули на разных языках, работу с несколькими наборами данных и с несколькими проектами одновременно, отслеживание связей между наборами данных. Такие возможности позволяют расширить пакет заданий для студентов с одновременным упрощением их реализаций.

Как видно из требований, новая система не привязана к конкретному функционалу. Поэтому имеет смысл говорить не о системе конечно-элементного анализа, а об универсальной системе обработки данных и наборе модулей для нее, реализующих конечно-элементный анализ.

Универсальная система обработки данных предоставляет общий функционал необходимый всем модулям, связывает модули между собой и позволяет пользователю

добавлять и удалять модули из системы.

Связь между модулями ограничивается интерфейсами модулей. Каждый модуль должен знать только о своих данных и интерфейсах, используемых модулей. Если модулю А необходимы данные формируемые модулем Б, то он должен получать их через интерфейс модуля Б.

Универсальная система отслеживает связи между наборами данных и обеспечивает сохранение и загрузку рабочего пространства, управление рабочими пространствами и шаблонами рабочих пространств, управление проектами и шаблонами проектов, подключение/отключение модулей, связь между модулями, отображение ошибок, отображение интерфейса модулей, перехват клавиатурных команд и сопоставление им команд из загруженных модулей. Под рабочим пространством здесь понимается набор загруженных сборок (библиотек) активных модулей и их настроек, а также набор *проектов*, между которыми пользователь может переключаться. Проект хранит в себе информацию о наборах данных.

Настройки модулей - это настройки, которые редактируются средствами самого модуля их использующих, т.е. модуль использует их по своему усмотрению. Система только сохраняет настройки и передает их модулю, когда он потребует. Формат настроек – любые данные, которые можно стандартизировать. Модуль возвращает системе стандартизированный объект, а система сохраняет его в проекте.

Модуль – класс, оформленный особым образом и реализующий интерфейс**,** который позволяет системе ее использовать. Любой модуль должен предоставлять список интерфейсов модулей, которые ему необходимы. Любой модуль можно заменить другим с таким же интерфейсом.

Каждый модуль представляет набор пользовательских команд управления модулем. Этот набор команд должен быть оформлен в виде набора определенных классов, который может включать:

- команды, отображаемые в виде выпадающего списка сверху
- команды, отображаемые в виде кнопок сверху
- команды, отображаемые в виде выпадающего списка при щелчке мышью на проект либо набор данных
- команды, выполняемые при двойном щелчке на наборе данных (если несколько модулей закреплены за одним видом данных, то система должна предлагать пользователю выбрать модуль, команду которого надо выполнить).

Модуль хранения данных – модуль, обеспечивающий сохранение данных, приём от модуля обработки и передачу их модулю обработки по запросу. При загрузке модуля хранения данных в проекте появляется возможность добавлять наборы данных, которые хранит данный модуль. Формат передачи данных для каждого типа модулей фиксирован и определяется интерфейсом. Формат хранения данных произволен. При изменении модуля хранения данных данные автоматически (средствами системы и модулей хранения данных) переформатируются в формат данных нового модуля хранения. Так как для любого модуля хранения может быть добавлено несколько наборов данных, для каждого модуля хранения должен быть установлен активный набор данных, обработка которого осуществляется в данный момент.

Модуль обработки данных – модуль, получающий данные из модулей хранения, обрабатывающих их каким либо образом (пользователем либо согласно определенному алгоритму) и выдающий их в другие (или те же) модули хранения.

Визуальный модуль – модуль отображающий данные в виде вкладки в основном окне системы. Вкладки могут быть двух изменяемыми (если в результате действий пользователя меняются данные) и неизменяемыми (если данные только отображаются). Изменяемая вкладка должна предоставлять системе информацию о том, были ли изменены данные в ней и метод для сохранения своих данных.

Система реализуется на платформе Microsoft .NET Framework 4.

Архитектура универсальной системы обработки данных представлена на рис. 1, ядра системы – на рис.2, графического интерфейса – на рис 3. Стрелки показывают ссылки одних объектов на другие (и, соответственно, какие объекты к каким могут обращаться).

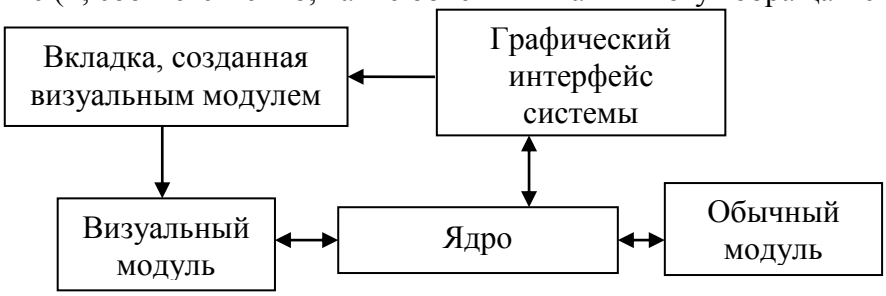


Рис. 1. Архитектура универсальной системы обработки данных

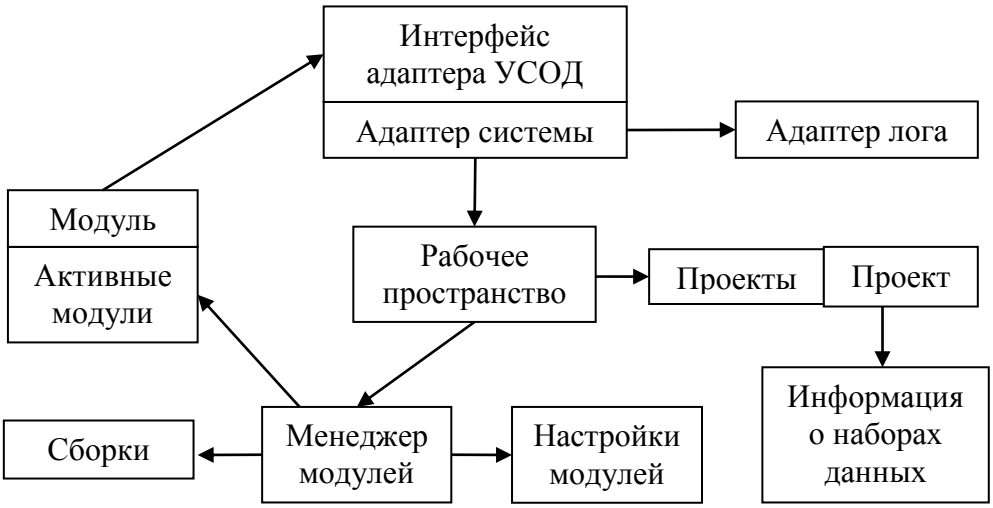


Рис. 2. Архитектура ядра универсальной системы обработки данных

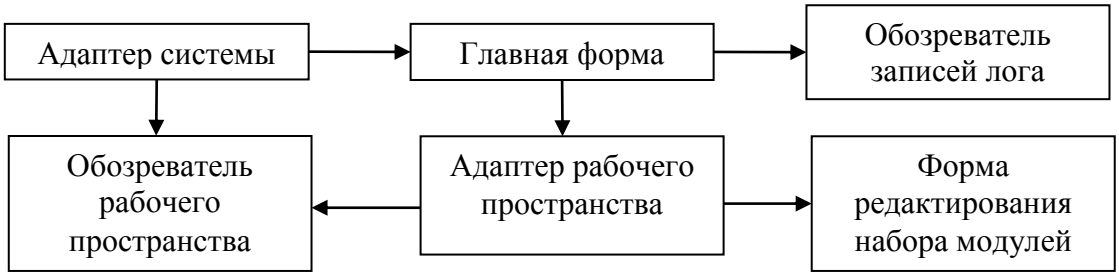


Рис. 3. Архитектура графического интерфейса системы.

Тогда архитектура набора модулей конечно-элементного анализа в системе обработки данных будет представлена стандартным образом (рис. 4), в отличие от предыдущей концепции CAE Sigma [6]:

Рис. 4. Набор модулей конечно-элементного анализа.

Модуль экспорта не удалось отнести ни к одной из подсистем, поэтому он вынесен отдельно. В настоящее время реализованы препроцессор и постпроцессор, которые проходят отладку с предыдущей версией Sigma прямо в учебном процессе кафедры. Понятно, что это

потребовало некоторого изменения структуры и связей Sigma. Решатель находится в стадии модификации.

Список литературы

1. *Dahlblom O., Peterson A., Peterson H.* CALFEM – a program for computer-aided learning of the finite element metod. Eng.Comput., vol.3, N02,1986.
2. *Петренко, А.К.; Петренко, О.Л.; Кулямин, В.В.* Использование ресурсов научных учреждений для подготовки специалистов в области информационных технологий. Тезисы доклада на 2-й Межд. Конф. «Информатизация и глобализация социальноэкономических процессов», Москва, 2007.
3. *N. Ducheneaut.* Socialization in an Open Source Software Community: A Socio-Technical Analysis. Computer Supported Cooperative Work (CSCW), 14(4):323–368, 2005.
4. *Pedroni, M.; Bay, T.; Oriol, M.; Pedroni, A.* Open source projects in programming courses. ACM SIGCSE Bulletin, 39(1):454-458, March 2007.
5. САПР CAD, CAE, CAM с открытым исходным кодом для многофункциональной операционной среды GNU/Linux http://mrc.org.ua/component/content/article/56-sapr-linux
6. *Столярчук В.А.* Программная система для обучения разработчиков CAE-приложений. – Научно-технический вестник Поволжья, №6, 2012, стр. 394-397.

05.13.06

А.Х. Тазмеев к.х.н.

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, отделение энергетики и информатизации, кафедра информационных систем, Набережные Челны, tazmeev@gmail.com

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ПЛАЗМЫ С ЖИДКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

В работе представлен новый способ, позволяющий усовершенствовать систему управления генератора плазмы с жидкими электродами при помощи частотного регулирования электропривода насоса.

Ключевые слова: *генератор плазмы, асинхронный электродвигатель, частотный преобразователь, программируемый контроллер.*

Газовый разряд между жидким электролитным катодом и металлическим анодом представляет практический интерес в первую очередь в связи с тем, что он горит в объемной форме при атмосферном давлении без применения каких-либо сложных технических устройств. К тому же данный вид объемного разряда обладает достаточно широким спектром возможностей для практических приложений. В частности, он может быть использован для инициирования химических процессов в растворах электролитов [1] и стерилизации воды [2]. При больших значениях тока (10-30 А), данный разряд становится пригодным для энергоемких плазменных процессов, в частности, может найти применение в плазмохимических установках для конверсии полимерных отходов в синтез-газ [3-5]. В связи с нелинейностью и многофакторностью процессов, происходящих в генераторах плазмы с жидкими электродами, при их эксплуатации возникает необходимость автоматизации управления данными процессами, в частности, требуется автоматизировать подачу электролита.

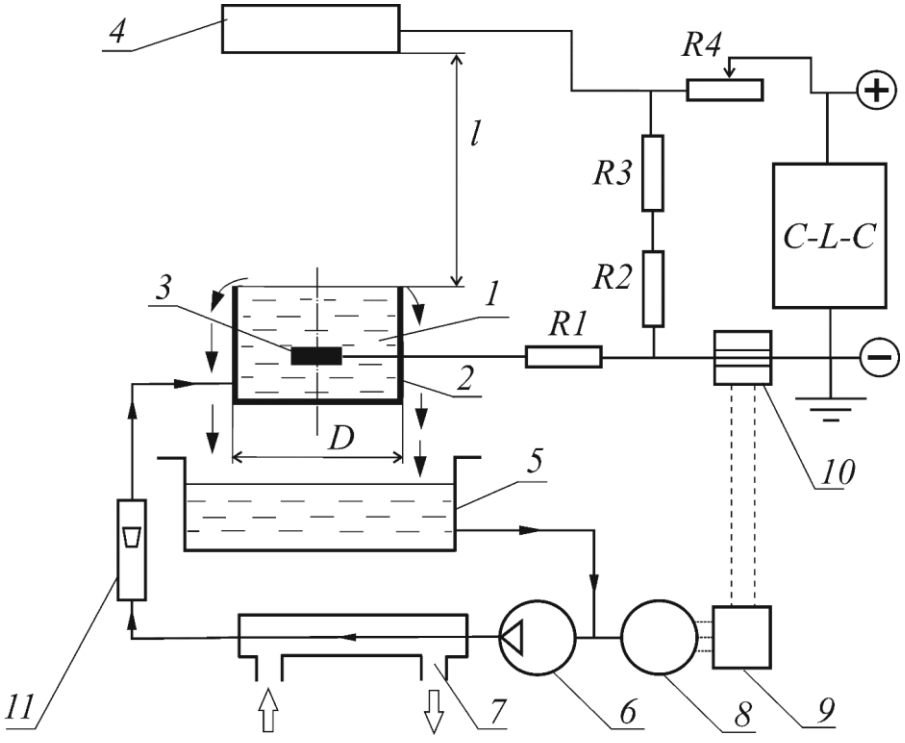


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки

Изыскания по разработке автоматической системы регулирования подачи электролита проводились на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1.

Разряд зажигался между жидким электролитным катодом *1* и металлическим анодом *4*. Электролит вытекал из цилиндрического стакана *2*, внутри которого была смонтирована графитовая пластина *3* для подвода тока. Съем тепла от электролита осуществлялся циркуляционной системой, включающей в себя емкость *5*, гидронасос *6* и теплообменник *7* с водяным охлаждением. Расход электролита регулировался изменением частоты вращения электропривода *8* и контролировался поплавковым ротаметром *11*. Электропривод *8* был функционально связан с преобразователем частоты *9*. Частота вращения менялась по сигналу, поступающему от датчика тока *10*.

Опыты показали, что нагрев электролита в основном происходит за счет джоулевого выделения тепла. Поэтому съем тепла от электролита при малых токах можно было осуществить небольшой скоростью циркуляции, а при больших токах потребовалось ее существенно увеличить. Задача состояла в том, чтобы циркуляция электролита соответствовала токовой нагрузке генератора плазмы, и при этом не было излишней траты энергии.

В последние годы в промышленности находит применение частотное регулирование асинхронного двигателя [6]. Перспективность такого способа регулирования наглядно иллюстрируют графики на рис. 2.

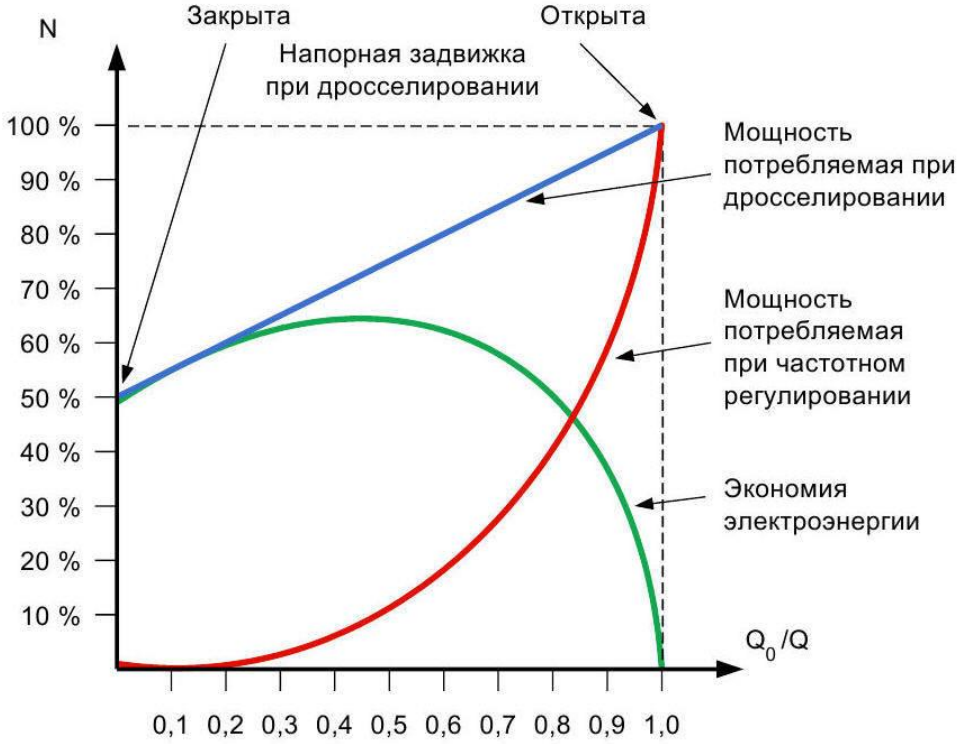


Рис. 2 – Потребление мощности при различных способах регулирования скорости вращения насосов

Как следует из представленных данных, при дросселировании поток жидкости, сдерживаемый задвижкой, вентилем или клапаном, не совершает полезной работы. Применение регулируемого электропривода насоса позволяет задать необходимое давление или расход, что обеспечит не только экономию электроэнергии, но и снизит потери транспортируемого вещества.

Регулирование методом изменения скорости вращения вала электропривода за счет изменения числа оборотов обеспечит требуемую величину расхода электролита. Для регулирования скорости асинхронного электропривода наиболее часто используются частотные преобразователи компании Delta Electronics.

Преобразователи частоты – это электронные устройства для плавного бесступенчатого регулирования скорости вращения вала асинхронного двигателя. В простейшем случае

частотного регулирования управление скоростью вращения вала осуществляется с помощью изменения частоты и амплитуды трехфазного напряжения, подаваемого на двигатель.

Большинство современных преобразователей частоты построено по схеме двойного преобразования. Они состоят из следующих основных частей (рис. 3): звена постоянного тока, силового трехфазного импульсного инвертора и системы управления.

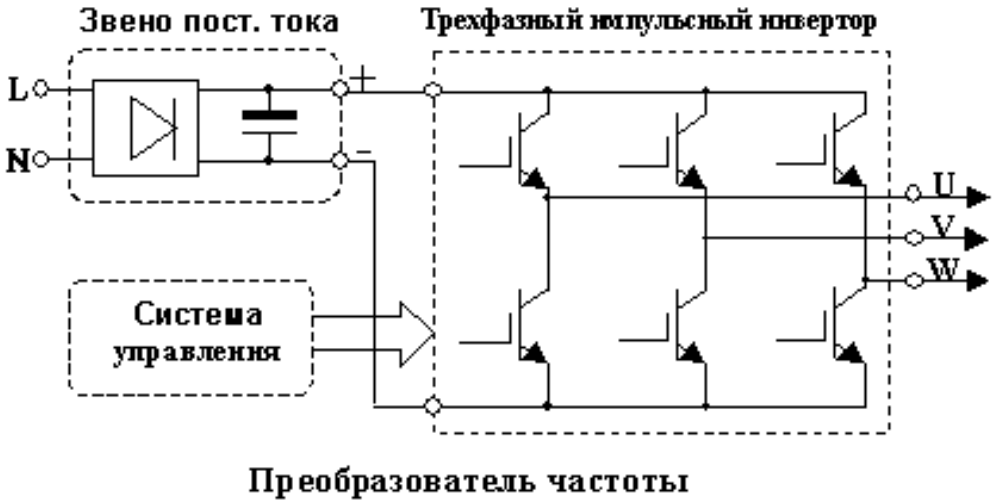


Рис. 3 – Схема преобразователя частоты

Звено постоянного тока состоит из неуправляемого выпрямителя и фильтра. Переменное напряжение питающей сети преобразуется в нем в напряжение постоянного тока. Силовой трехфазный импульсный инвертор состоит из шести транзисторных ключей соединенных по схеме, приведенной выше. Каждая обмотка двигателя подсоединяется через соответствующий ключ к положительному и отрицательному полюсам звена постоянного тока. Инвертор осуществляет преобразование напряжения постоянного тока в трехфазное переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды (U, V, W), управляющее двигателем.

Управление силовым инвертором осуществляется с использованием широтно-импульсной модуляции (сокращенно ШИМ). При этом к обмоткам двигателя импульсно прикладывается напряжение звена постоянного тока таким образом, что эффект оказывается практически эквивалентен приложению синусоидального напряжения требуемой частоты и амплитуды.

ШИМ характеризуется периодом модуляции, внутри которого вывод обмотки подключается, по очереди, к положительному и отрицательному полюсам звена постоянного тока. Длительность этих состояний внутри периода ШИМ модулируется по синусоидальному закону. При высоких (обычно 2-15 кГц) тактовых частотах ШИМ в обмотках двигателя, вследствие их фильтрующих свойств, протекают синусоидальные токи. Их частота и амплитуда определяются соответствующими параметрами модулирующей функции. Подобное импульсное управление позволяет получить очень высокий КПД преобразователя (до 98 %) и практически эквивалентно аналоговому управлению с помощью частоты и амплитуды напряжения. Меняя параметры питающего напряжения (частотное управление) можно получить скорость вращения двигателя как ниже, так и выше номинальной.

Один из режимов работы преобразователя частоты – это режим поддержания заданного значения частоты [7]. Задание частоты может производиться с пульта управления, входа «задатчика» (аналогового входа) или комбинацией сигналов дискретных входов. Преобразователь непрерывно отслеживает сигнал задания частоты и изменяет в соответствии с ним свою выходную частоту. В данной системе в качестве сигналов задания частоты использовались сигналы, поступающие от датчика тока, имеющий стандартный токовый выход в диапазоне 4-20 мА.

Системы управления на базе частотных преобразователей могут иметь любые технологически требуемые функции, реализация которых возможна как за счет встроенных в преобразователи программируемых контроллеров, так и дополнительных контроллеров, функционирующих совместно с преобразователями.

В данной системе был использован частотный преобразователь Delta VFD-E, имеющий встроенный программируемый контроллер. В программу для контроллера закладывалась зависимость частоты вращения электропривода от тока, которая устанавливалась экспериментально при испытаниях генератора плазмы. Таким образом, экспериментально было установлено, что регулирование числа оборотов привода при помощи частотного преобразователя может с приемлемой точностью обеспечить расход электролита, требуемый для конкретной токовой нагрузки жидкоэлектродного генератора плазмы.

Список литературы

1. *Захаров А.Г., Максимов А.И., Титова Ю.В.* // Успехи химии. − 2007, − Т. 26, − № 3. − С. 260-278.
2. *Locke B.R., Sato M., Sunka P. et al.* // Ind. Eng. Chem. Res. − 2006. − V. 45, № 3. − P. 882-905.
3. *Фридланд С.В., Тазмеев А.Х., Мифтахов М.Н., Тазмеев Х.К.* // Вестник машиностроения. − 2006. − № 7. − С. 72-73.
4. *Тазмеев А.Х., Фридланд С.В., Мифтахов М.Н.* // Вестник Казанского технологического университета. − 2006. − № 6. − С.43-46.
5. *Тазмеева Р.Н., Зиганшин Р.Р., Тазмеев Х.К.* // Вестник машиностроения. − 2008. − № 10. − С. 87-88.
6. *Козлов М., Чистяков А.* // Современные технологии автоматизации. − 2001. − № 1. − С.76-82.
7. *Петров Д.* // Силовая Электроника. − 2005. − № 1. − С. 62-66.

05.07.05

А.А. Ташкинов, И.А. Арбузов, П.В. Писарев, В.Я. Модорский, Р.В. Бульбович, Д.В. Щенятский, Б.Е. Кириевский

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения
высшего профессионального образования
"Пермский национальный исследовательский политехнический университет" (ПНИПУ),
Центр высокопроизводительных вычислительных систем, Пермь, pisarev85@live.ru,
modorsky@pstu.ru, dekan_akf@pstu.ru, rector@pstu.ru, gi_secret@protonpm.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧИСЛА ЛОПАТОК РАБОЧИХ КОЛЕС НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

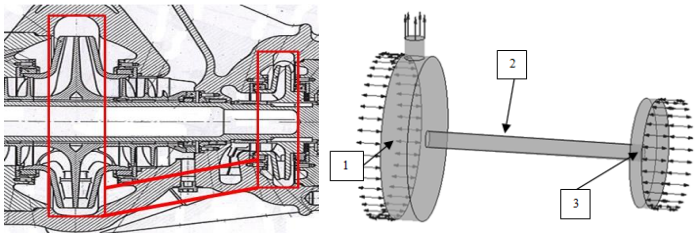
В рамках данной работы проводиться исследование влияния числа лопаток рабочих колес первой и второй ступеней центробежного насоса на колебательные процессы. Выявлен рост интесивности колебательных процессов в 1,6 в районе второй ступени при увеличении числа лопаток первой ступени с 11 до 13.

Ключевые слова: *колебательные процессы, число лопаток рабочих колес, центробежный насос.*

Актуальность данного исследования определяется недостаточной теоретической разработкой вопросов, связанных с расчетом и необходимостью снижения интенсивности колебательных процессов в классе высокооборотных двухступенчатых центробежных насосов с промежуточным отбором жидкости с различными лопастными колесами, размещенными на одном валу. Вопросы влияния конструктивных и режимных факторов на колебательные процессы в этом классе насосов не изучены и каждый из факторов заслуживает отдельного наблюдения и исследования. Решение указанной проблемы позволит более объективно проводить оценку влияния параметров на колебательные процессы в свободном объеме первой, второй ступеней и в соединительном канале при изменении скорости вращения и положения крыльчаток первой и второй ступеней друг относительно друга.

В рамках данной работы проводиться исследование влияния числа лопаток рабочих колес первой и второй ступеней центробежного насоса на колебательные процессы. Так же в работе приводятся результаты вычислительных экспериментов с использованием трехмерной гидродинамической модели, учитывающей характерные особенности колебательной системы "полость насоса первой ступени - соединительный канал - полость насоса второй ступени". Моделируется неравномерность потока на выходах из насоса, возможность реализации различных вариантов сборки с различным количеством лопаток на первой и второй ступени, волновые процессы в гидродинамическом объеме, скорость вращения и т.д. Рассматривались расчетные случаи с числом лопаток на первой ступени равными 11,13, при углах сдвига фаз $\varphi=0$, $\varphi=\pi/2$, $\varphi=\pi$, $\varphi=3\pi/2$.

Для проведения численных экспериментов геометрия исходной расчетной области (рис. 1 а) была сведена к трем объемам (рис. 1 б). Первый соответствует свободному объему первой ступени, второй соответствует свободному объему соединительного канала с учетом его значимых геометрических размеров (длина и объем). Сечение модельного канала представляет собой круг. Третий объем соответствует свободному объему второй ступени [1,2].



а б

Рис. 1 – Общий вид геометрической модели: а – исходная конструкция, б – модельная

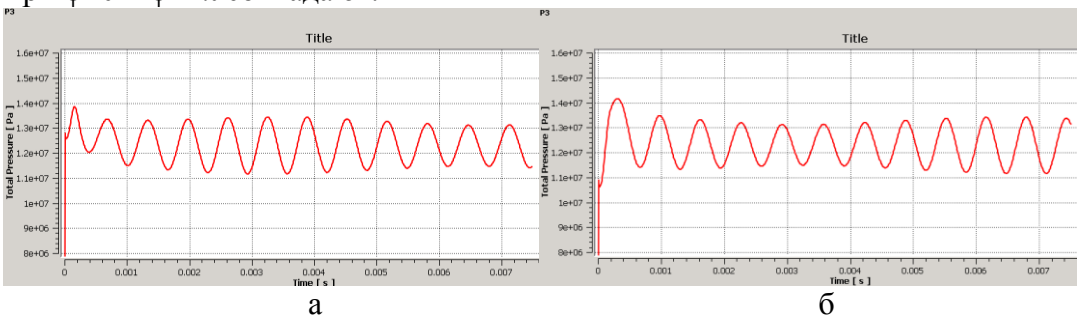
Анализ, условий работы двухступенчатого центробежного насоса, результатов проведенных другими авторами физических экспериментов и учет конструктивных и технологических особенностей данного насоса позволили сформулировать физическую и математическую модели нестационарных гидродинамических процессов в нем. При этом учитывались принятые в натурном эксперименте геометрические размеры насоса системы питания жидкостного ракетного двигателя, именно: рабочие объемы первой и второй, объем соединительного канала, геометрические характеристики крыльчаток первой и второй ступени. Так же учитывались режимы подачи рабочей жидкости, возможность реализации турбулентного характера течения в рабочих объемах первой и второй ступеней, в объеме соединительного канала, влияние окружающей среды.

Созданные геометрические модели были экспортированы в формате *PARASOLID* в систему инженерного анализа *ANSYS CFX*. Затем на базе узлов геометрических моделей строились расчетные сетки, задавались граничные условия и другие необходимые параметры для дальнейшего расчета задачи.

Структура расчетной сетки принималась следующая. Для лучшей сходимости решения и снижения погрешностей получаемых результатов необходимо применить сетку, ячейки которой имеют форму, близкую к форме равностороннего тетраэдра.

Для контроля пульсаций давления в расчетную область были помещены математические "датчики" давления. Все "датчики" располагаются на оси симметрии модели. Первый "датчик" располагается на входе в соединительный канал, второй, третий, четвертый, пятый – в соединительном канале, шестой- на выходе из соединительного канала.

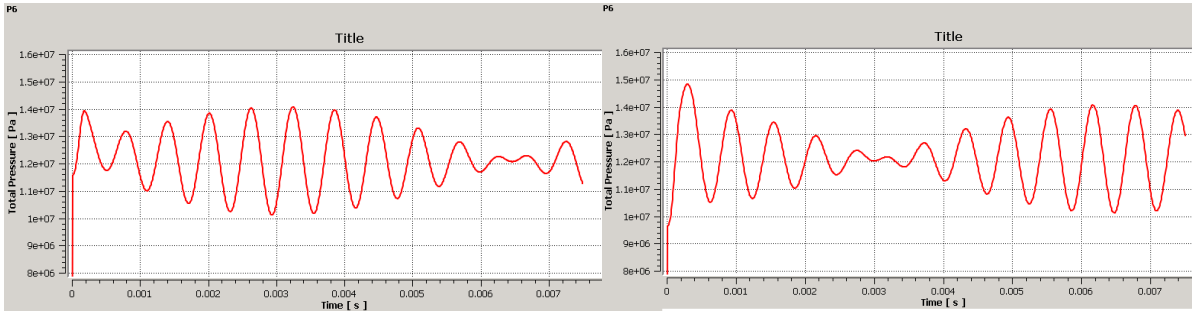
В ходе проведения вычислительных экспериментов варьировалась фаза φ, и число лопаток первой ступени n=11,13, которая принимала значения φ=0, φ= π/2, φ=π, φ=3π/2. В результате расчетов были получены графики зависимости Δ*P* (размах колебаний давления) от ремени при различных φ и n (рис. 2 а, б для n=11, контрольная точка 2). Результаты расчетов при φ=0 и φ=2π совпадают.



а б

Рис. 2 – График зависимости Δ*P* от времени на входе в соединительный канал при n=11: а-угол сдвига фаз 0; б-угол сдвига фаз π

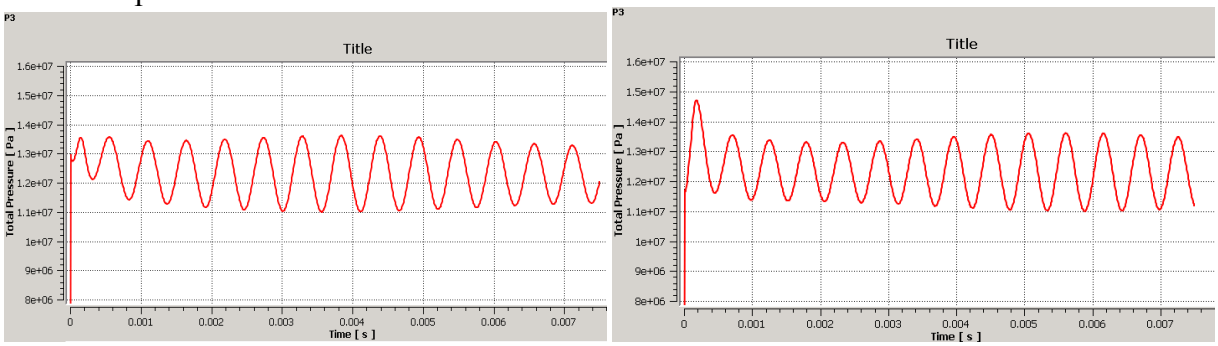
Анализ результатов показал, что максимальная амплитуда колебаний давления Δ*P* в начале соединительного канала одинакова для всех углов сдвига фаз и равна 12 МПа. При сравнении амплитуд с расчетным вариантом при n=12 обнаружилось усиление амплитуды колебаний давления в начале соединительного канала в 4 раза. На рисунке 3 (а, б) представлен график зависимость Δ*P* от t в контрольной точке 6.



а б

Рис. 3 – График зависимости ΔP от времени на выходе из соединительного канала при n=11: а – угол сдвига фаз 0; б – угол сдвига фаз π

Максимальная амплитуда колебаний давления ΔP в конце соединительного канала так же одинакова для всех углов сдвига фаз и равна 15 МПа. Кроме того наблюдаются интенсивное изменение амплитуды колебания давления по времени (возникновение биения) со смещенной фазой (разная для каждого угла сдвига фаз). При сравнении амплитуд с расчетным вариантом при n=12 обнаружилось усиление амплитуды колебаний давления в начале соединительного канала в 2 раза. На рисунке 4 (а, б) представлен график зависимость ΔP от t в контрольной точке 3.



а б

Рис. 4 – График зависимости ΔP от времени на входе в соединительный канал при n=13: а – угол сдвига фаз 0; б – угол сдвига фаз π

Для расчетных случаев при n=13 максимальная амплитуда колебаний давления ΔP в начале соединительного равна 12,5 МПа. При сравнении амплитуд с расчетным вариантом при n=12 обнаружилось усиление амплитуды колебаний давления в начале соединительного канала в 4 раза. На выходе их соединительного канала наблюдается усиление ΔP=24 МПа, по сравнению с расчетным вариантом, при n=12 наблюдается усиление в 2,4 раза.

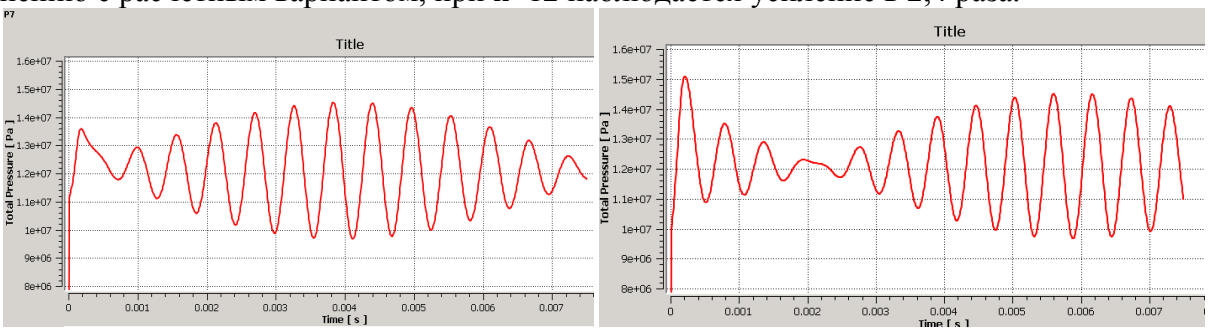


Рис. 5 – График зависимости ΔP от времени на выходе в соединительный канал при n=13: а – угол сдвига фаз 0; б – угол сдвига фаз π

При сравнении результатов численных экспериментов при n 11 и 13

1,04 раза в начале соединительного канала и 1,6 в конце. Кроме того при движении в жидкости в сторону второй ступени наблюдается усиления ΔP 1,25 для расчетного случая n=11 и 1,92 при n =13. Таким образом выявлен рост интесивности колебательных процессов в 1,6 в районе второй ступени при увеличении числа лопаток первой ступени с 11 до 13.

Список литературы

1. *Писарев П.В., Модорский В.Я., Щенятский Д.В., Арбузов И.А., Бульбович Р.В., Кириевский Б.Е., Ташкинов А.А.* Численное моделирование колебательных процессов в центробежном насосе // Научно-технический вестник Поволжья. –2012. – № 3. – С. 44-49.
2. *Писарев П.В., Арбузов И.А., Ташкинов А.А., Щенятский Д.В., Кириевский Б.Е., Бульбович Р.В., Модорский В.Я.* Численное моделирование колебательных процессов в соединительном канале модельного насоса // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 100-103.

05.07.05

А.А. Ташкинов, И.А. Арбузов, П.В. Писарев, В.Я. Модорский,
Р.В. Бульбович, Д.В. Щенятский, Б.Е. Кириевский

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения
высшего профессионального образования
"Пермский национальный исследовательский политехнический университет" (ПНИПУ),
Центр высокопроизводительных вычислительных систем,
Пермь, pisarev85@live.ru, modorsky@pstu.ru, dekan_akf@pstu.ru, rector@pstu.ru,
gi_secret@protonpm.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИИ В ЛАБИРИНТНОМ УПЛОТНЕНИИ

Работа посвящена изучению влияния рабочих параметров на кавитационные процессы в лабиринтных уплотнениях двухступенчатого центробежного насоса.

В работе разработаны твердотельные, математические и физические модели, выявлены кавитационные эффекты в лабиринтных уплотнениях, сформулированы рекомендации по уменьшению их интенсивности.

Ключевые слова: *кавитационные процессы, лабиринтные уплотнения, двухступенчатый центробежный насос.*

Цель исследования заключается в изучении влияния рабочих параметров на кавитационные процессы в лабиринтных уплотнениях двухступенчатого центробежного насоса и разработке рекомендаций по уменьшению интенсивности кавитационных процессов в высокооборотных двухступенчатых центробежных насосах.

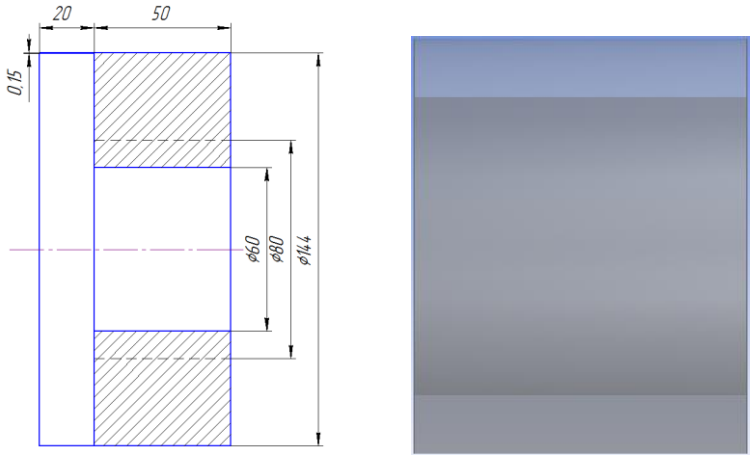
Повышением надежности работы бесконтактных уплотнений высокооборотных двухступенчатых центробежных насосов и роторных машин в целом является актуальной задачей. Так как в процессе их эксплуатации возможно вскипание и двухфазное парожидкостное течение рабочей среды в дросселирующих зазорах уплотнений. Данные неблагоприятные эффекты приводят к резкому падению как их расходных, так и жесткостных характеристик, что может стать причиной контакта ротора с уплотнениями. Кроме того лабиринтные уплотнения двухступенчатых центробежных насосов не исключают перетечку рабочей жидкости из одной ступени в другую, а совместно с кавитационными эффектами это может приводить к непрогнозируемому срыву напора.

С проблемой возникновения непрогнозируемых эффектов, связанных с падением напора на второй ступени двухступенчатого центробежного насоса ТНА неоднократно сталкивались при наземной отработке на воде двухступенчатых центробежных насосов системы питания. Проблема решалась в процессе экспериментальных доводочных работ.

В процессе работы сформулированы физическая и математическая модели гидродинамического процесса. Выявлены закономерности появления и развития кавитации в модельных каналах при варьировании параметров потока и геометрии канала. При проведении натурных испытаний обнаружено несоответствие кавитационной характеристики насоса установленным требованиям. В ходе вычислительных экспериментов выявлены закономерности появления и развития кавитации в модельных каналах. Вычислительные эксперименты проведены с использованием лицензионного пакета *ANSYS CFX*.

Для проведения вычислительных экспериментов были построены геометрические модели лабиринтных уплотнений первой и второй ступеней. Лабиринтные уплотнения соединены между собой таким образом, что жидкость повышенного давления подпадающая в лабиринт второй ступени, может проникать через зазор имеющийся в уплотнении первой ступени,

двухступенчатого центробежного насоса. Рассмотрим модель утечки через лабиринтное уплотнение первой ступени, через зазор, имеющийся в уплотнении крыльчатки на вход насоса может поступать вода из полости высокого давления. Твердотельная модель показана рисунке 1.



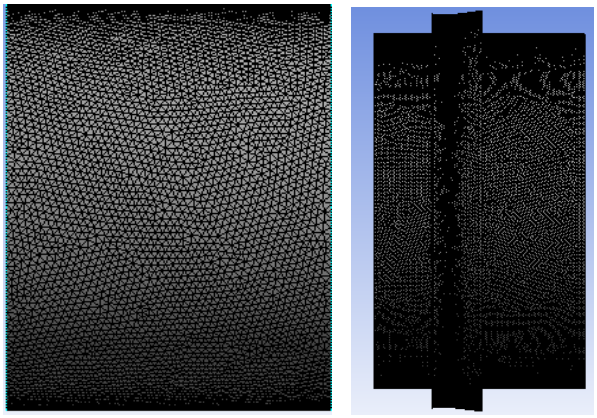
а) б)

Рис. 1– Конструктивная схема расчетной модели:
а – геометрические характеристики; б – твердотельная модель

На первом этапе исследовния рассматривалась облать перехода лабиринтного уплотнения первой ступени в свободный объем первой ступени. Для решения модельной задачи задавалось полное давление величиной 8 МПа, которое поступает в зазор величиной 0,15 мм и затем в кольцевую полость шириной 42 мм. На оставшуюся площадь кольца слева по рисунку 2.1 поступает вода под давлением 0,5 МПа. Далее вода движется в сторону выхода на рисунке 1 справа.

Для решения задачи, геометрическая модель была разбита на расчетную сетку. Для лучшей сходимости решения и снижения погрешностей получаемых результатов применялась расчетная сетка, ячейки которой имеют равномерную форму, близкую к форме тетраэдра.

Вместе с тем, при измельчении сетки избегались резкие отличия геометрических размеров соседних ячеек – линейные размеры не должны отличаться более, чем в 2 раза. На рисунке 2 (а, б) представлена тетраэдральная расчетная сетка, примененная для решения поставленной задачи.

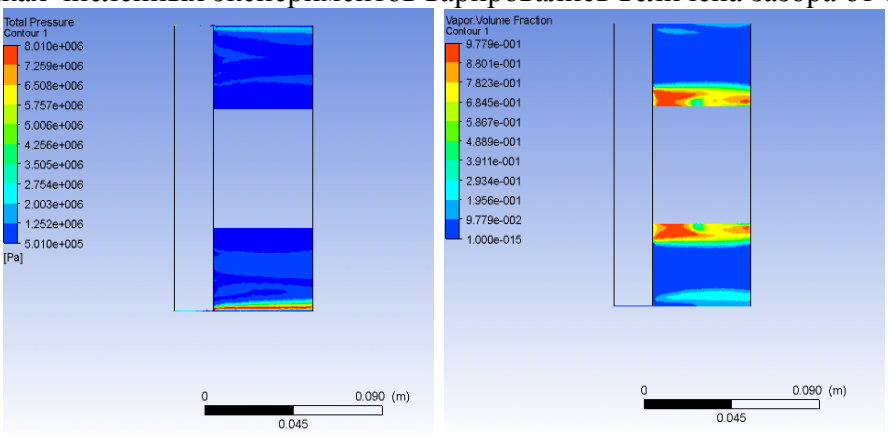


а б

Рис. 3 – Общий вид расчетной сетки:
а - модель уплотнения ступени 1; б - модель уплотнения ступени 1

По результатам вычислительных экспериментов была выявлена кавитация в на входе в первую ступень. На рисунке 3 показано распределение объемных долей воздуха в воде, возникающего в результате кавитации. Возникновение кавитации приводит к ухудшению кавитационной характеристики. В связи с этим возможность образования кавитации на входе в первую ступень необходимо учитывать при разработке антикавитационных мероприятий.

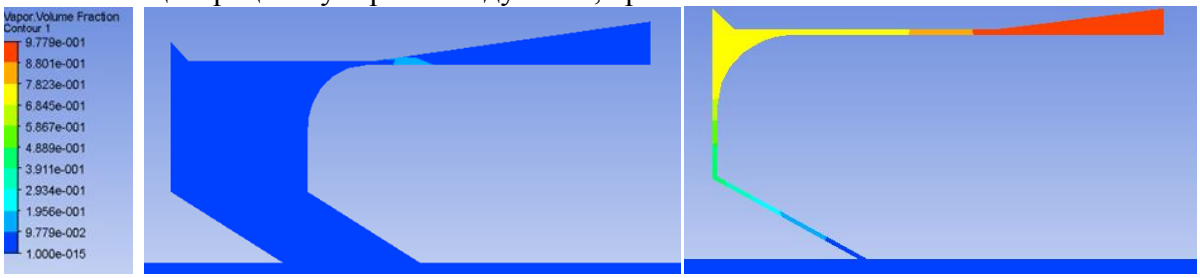
На втором этапе исследования рассматривались лабиринтные уплотнения в районе второй ступени. В рамчках численных экспериментов варировались величена зазора от 0,6 до 3 мм.



а б

Рис.3 – Слои визуализации:
а – распределение полного давления; б – объемная доля водяного пара

На рисунке 4приведены результаты численных экспериментов, как видно из рисунков максимальная концентрация пузырьков воздуха, образовавшихся в свободном объеме лабиринтного уплотнения, наблюдается при величине зазора 0,6мм. Таким образом при уменьшении величины зазора в лабиринтном уплотнениии с 3 до 0,6 мм., происходит увеличение концентрации пузырько воздуха в 3,3 раза.



а) б)

Рис. 4 – Распределение объемной доли воздуха в лабиринте второй ступени:
а- максимальный зазор, б - минимальный зазор

В дальнейшем планируется провести анализ влияния колебательных процессов при различных углах сдвига фаз [1-4] на кавитационные эффекты.

В результате работы накоплен и структурирован банк данных вычислительных экспериментов по исследованию гидродинамических процессов в каналах наукоемких изделий, сформулированы рекомендации по уменьшению интенсивности кавитационных эффектов в лабиринтных уплотнениях первой и второй ступени центробежного насоса с промежуточным отбором, Разработаны твердотельные математические и физические модели.

Список литературы

1. *Писарев П.В., Модорский В.Я., Щенятский Д.В., Арбузов И.А., Бульбович Р.В., Кириевский Б.Е., Ташкинов А.А.* Численное моделирование колебательных процессов в центробежном насосе // Научно-технический вестник Поволжья. –2012. – № 3. – С. 44-49.
2. *Писарев П.В., Арбузов И.А., Ташкинов А.А., Щенятский Д.В., Кириевский Б.Е., Бульбович Р.В., Модорский В.Я.* Численное моделирование колебательных процессов в соединительном канале модельного насоса // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 100-103.
3. *Писарев П.В., Арбузов И.А., Ташкинов А.А., Щенятский Д.В., Кириевский Б.Е., Бульбович Р.В., Модорский В.Я.* Анализ влияния конструкции входа в соединительный канал на колебательные процессы в первой ступени модельного двухступенчатого насоса//Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 108-111.
4. *Писарев П.В., Арбузов И.А., Ташкинов А.А., Щенятский Д.В., Кириевский Б.Е., Бульбович Р.В., Модорский В.Я.* Анализ колебательных процессов в первой ступени модельного двухступенчатого насоса // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6.–С. 104-107.

05.13.01

О.П.Тимофеева, М.В.Мартынюк, М.А.Степаненко

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
институт радиоэлектроники и информационных технологий,
кафедра информатики и систем управления,
Нижний Новгород, m_mart@mail.ru

БИКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТА НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ Н. НОВГОРОДА

Рассматривается решение проблемы поиска маршрута оптимального с точки зрения расстояния и времени на графе транспортной сети. Задача сводится к однокритериальной путём вычисления линейной свёртки нормализованных критериев.

Ключевые слова: *бикритериальная оптимизация, граф транспортной сети, списки смежности, свёртка.*

Задача поиска оптимального маршрута является одной из ключевых в области транспортных систем. Под оптимальным маршрутом будем понимать кратчайший путь между двумя точками либо маршрут, требующий минимального времени на преодоление расстояния. В связи с существующей в настоящее время спецификой загруженности дорог (это в первую очередь касается крупных городов) не всегда маршрут минимальной длины можно преодолеть за минимальное время.

В качестве математической модели транспортной сети будем использовать взвешенный частично ориентированный граф $G < V, E >$, с вершинами в местах пересечения дорог. Вершины G соединены одним направленным ребром в случае одностороннего движения, или двумя разнонаправленными ребрами. Вес ребра характеризуется парой параметров: расстоянием между вершинами w и скоростью транспортного потока v.

В качестве способа представления графа предлагается использовать списки смежности, которые в случае разреженных графов являются более предпочтительными по сравнению с матрицами смежности.

В отличие от матрицы смежности, применение списка смежности более эффективно, так как исключает хранение нулевых элементов. При этом объем памяти, требуемой для представления данных, составляет величину $O(m+n)$.

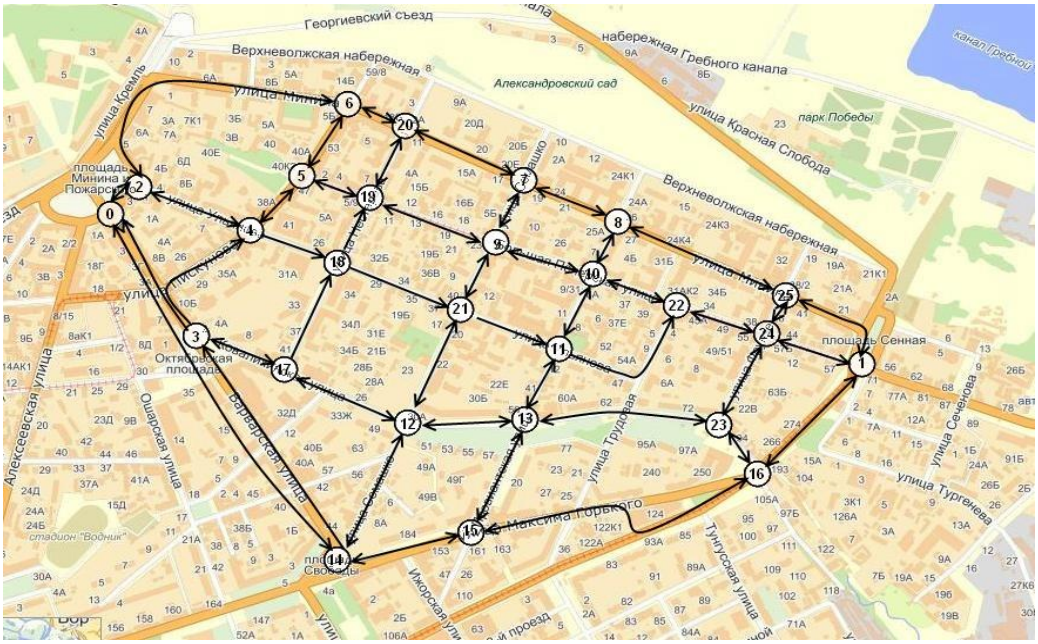


Рис. 5 – Граф участка транспортной системы города Нижнего Новгорода

Для исследования выделим наиболее интересный участок транспортной сети города Нижнего Новгорода (рис. 5), расположенный в историческом центре города, с характерным множеством узких улиц, что является первоочередной причиной образования дорожных заторов. Выбранная транспортная сеть характеризуется малой площадью и большим количеством перекрёстков и дорог. На данном участке дорожная ситуация является динамической, пропускная способность дорог зависит не только от числа полос, но и от времени суток, погодных условий и других факторов. Участок является периферийным и пользуется большой популярностью среди водителей, так как большинство офисов и бизнес-центров сконцентрировано именно в этой части города. Таким образом, рассматриваемый участок представляет интерес с практической точки зрения.

Математическая модель выбранного участка транспортной системы – частично ориентированный граф (рис.1), содержащий 26 вершин и 82 ориентированных ребра, из которых 45 уникальны.

По списку смежности строятся две матрицы весовых коэффициентов: *W* и *V*. Матрица *W* содержит статическую информацию. Для ее формирования использовался общедоступный поисково-информационный картографический сервис Яндекс.Карты. Матрица *V* содержит динамическую (зависящую от ситуации на дороге) информацию. Данные о скорости транспортных средств составляются на основании класса дороги и количества полос [1], определяющих пропускную способность дорожного полотна. При этом учитывается, что двухполосная дорога имеет среднюю пропускную способность 1000 ÷ 1500 авт./час и среднюю скорость v_0 = 50 ÷ 60 км/ч. Однополосные дороги обладают пропускной способностью 500 авт./час, при средней скорости v_0 = 40 км/ч.

Скорость движения транспортного средства $v_{тек}$ зависит от погодных условий, времени суток, светофорных циклов и т. д. Для своевременного обновления данных был разработан набор средств, позволяющий отслеживать текущую обстановку на дорогах Нижнего Новгорода и производить автоматизированный сбор информации. При реализации данного сервиса использовался общедоступный источник данных о пробках – DorogaTV, работающий на основе данных систем спутникового мониторинга транспорта GPS и ГЛОНАСС. Для получения данных используется URL вида: http://nnov.doroga.tv/RSSHotJams.php, полученные данные сохраняются в файл, из которого происходит выборка необходимых результатов.

Программный сервис запрашивает данные о заторах. Если в поступивших данных присутствуют улицы, расположенные в выбранном участке транспортной сети, то данные обновляются, а в соответствии с ними пересчитывается средняя скорость движения на данном участке дороги – $v_{тек}$ (при отсутствии заторов $v_{тек} = v_0$).

В работе ставится задача поиска оптимального пути между двумя заданными точками, учитывающего расстояние и затрачиваемое время.–Оптимальным считается маршрут, на который затрачено наименьшее количество времени и который может быть проложен по минимальной траектории. Таким образом, имеем задачу многокритериальной оптимизации, которая обуславливается наличием двух целевых функций (бикритериальная оптимизация).

Наиболее подходящим решением данной задачи будет сведение бикритериальной задачи к однокритериальной путем введения линейной свертки [2]. При этом задаются весовые неотрицательные коэффициенты, обозначающие степень важности каждого из критериев, и максимизируется линейная комбинация целевых функций. Следует учитывать, что сумма весовых коэффициентов для обоих критериев равна единице. Рассматриваемые критерии имеют равнозначный характер, поэтому коэффициент важности каждого из них примем равным 0,5. Для того чтобы воспользоваться линейной сверткой, необходимо провести процедуру нормализации выбранных критериев. Стоит отметить, что рассматриваемые критерии имеют физическую зависимость друг от друга, что позволяет произвести их нормализацию.

В идеальном случае время преодоления маршрута будет зависеть только от пропускной способности дорожного полотна. Именно такой случай и ляжет в основу перевода

расстояния во временную характеристику. Рассматриваемые в транспортной задаче ребра имеют протяженность (весовую характеристику *w*) от 100 до 1000 метров, поэтому будем полагать, что движение транспортного средства является прямолинейным и равномерным. Составим соотношение по приведению расстояния к временной характеристике: $t_0 = w \cdot v_0^{-1}$.

Тогда обобщенный весовой коэффициент, характеризующий ребра графа, будет вычисляться по формуле: $T = 0.5t_0 + 0.5t_{тек}$, где $t_{тек} = w \cdot v_{тек}^{-1}$ – время проезда по ребру с учетом текущей транспортной ситуации. Далее, задача решается как однокритериальная. Для ее решения используется алгоритм Дейкстры.

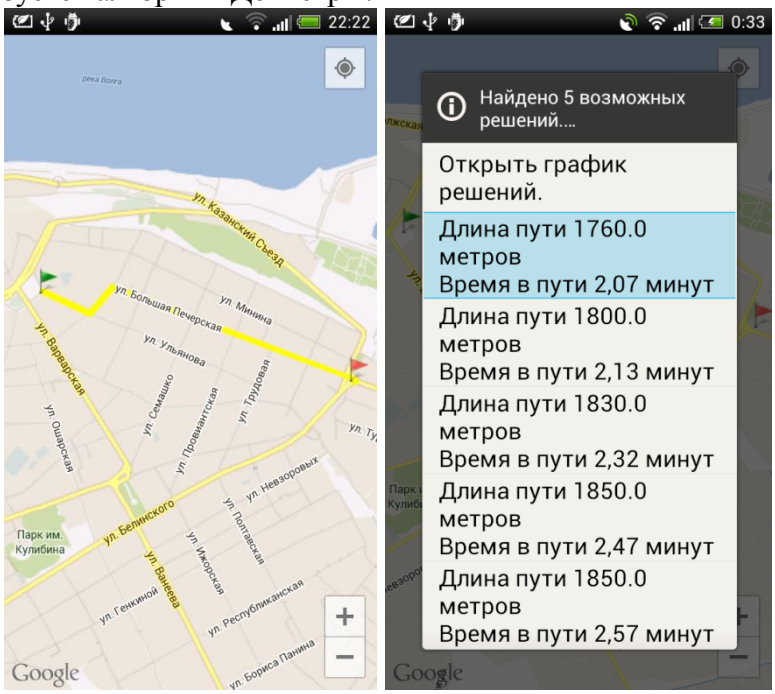


Рис. 6 – Интерфейс программного приложения

Адаптивный подход позволяет отслеживать текущее местоположение объекта и производить перестроение маршрута в соответствии с обновлёнными данными о временных характеристиках транспортной системы. Данный подход направлен на повышение качества получаемых результатов.

По мере продвижения объекта по маршруту будет отслеживаться текущее местоположение посредством GPS, либо Internet. Как только текущее местоположение будет совпадать с контрольной точкой, соответствующей вершине графа, происходит запрос на обновление данных по временному критерию (расчет $v_{тек}$), а также производится пересчёт маршрута.

Результатом работы является мобильное приложение для платформы Android [3], использующее механизм определения местоположения, а также разработанный алгоритмический аппарат по поиску оптимального решения. Приложение имеет интерактивный, интуитивно понятный пользователю интерфейс (рис. 2).

Список литературы

1. ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования.

2. *Кравцов М.К.* Линейная свёртка критериев в бикритериальной оптимизации. // М.К. Кравцов, О.А. Янушкевич. Известия высших учебных заведений. Математика – Казань: Изд. Казанский (Приволжский) федеральный университет. – 1998. – №12 (439). – С. 63-70.

4. *Мартынюк М.В.* Программа поиска оптимального маршрута для платформы Android // М.В. Мартынюк, О.С. Мочалихина. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012660450. 2013.

05.13.01

О.А. Трояножко, И.Д. Колесин

Санкт-Петербургский государственный университет,
факультет Прикладной математики - Процессов управления,
Санкт-Петербург, helgass@gmail.com, kolesin_id@mail.ru

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫБОРА ВИДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ РАНЖИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

Исследуется вопрос о влиянии вида распределения на точность ранжирования диагностических признаков. Сравниваются распределения Гаусса и Лапласа. Исследование проводится на известной базе данных по онкологии. Показывается, что порядок следования признаков по рангу не нарушается в части наиболее информативных признаков, а в части мало информативных появляются отдельные сбои. Дается объяснение обнаруженного факта.

Ключевые слова: *выбор признаков, классификация, математическая диагностика, рак груди.*

Введение

Для постановки правильного диагноза необходимо проводить большое количество анализов. Далеко не всегда проведение анализов является дешевой или безболезненной процедурой для пациента. Поэтому важнейшей задачей является выбор наиболее информативных признаков и проведение диагностической процедуры лишь по малому набору признаков вместо использования всей совокупности. Таким образом, сокращается не только время на обработку результатов анализов, но и минимизируются материальные затраты при постановке диагноза.

Однако начальная обработка данных ставит вопрос об аппроксимации эмпирических данных тем или иным распределением. Сложность выбора вида распределения для аппроксимации подтолкнула к изучению вопроса влияния выбора вида распределения на точность ранжирования, что и явилось целью данной статьи.

Постановка задачи

Пусть заданы множества $A \subset R^n$ и $B \subset R^n$ (пациенты из группы A и B, n-количество признаков), причём $A = \{a_i \in R^n | i \in I\}, B = \{b_i \in R^n | j \in J\}$, *где* $I = 1:N_1, J = 1:N_2$ (количество пациентов N_1 и N_2, соответственно), где $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, ..., a_{in}), b_j = (b_{j1}, b_{j2}, ..., b_{jn})$.

По стандартным формулам математической статистики вычисляем математическое ожидание и дисперсию величин a_{ik} и b_{jk}, $k = \overline{1, N}$. На основе полученных данных строятся функции распределения $f^A{}_k$ и $f^B{}_k$. величин a_{ik} и b_{jk}, $k = \overline{1, N}$ отдельно для распределения Гаусса и для Лапласа.

Критерием значимости признака служит площадь пересечения подграфиков плотностей распределения. Вычисляя площади пересечения для каждого признака (отдельно для распределения Гаусса и распределения Лапласа) построим два ряда для n признаков, упорядочивая их по величине площади.

Для сравнения рядов введем коэффициент p_i, представляющий соотношения площадей для двух распределений.

$$p_i = \frac{S_i^{Gauss}}{S_i^{Laplace}}, \; i = \overline{1, n}$$

где S_i^{Gauss}- площадь пересечения для $i-го$ признака в случае выбора распределения Гаусса, а $S_i^{Laplace}$- распределения Лапласа.

Определение 1. Будем говорить, что $k-ый$ признак абсолютно неинформативен, если площадь пересечения S_k подграфиков функций для групп A,B равна единице: $S_k = 1$.

Это определение вытекает из условия равенства математических ожиданий и равенства дисперсий для k-го признака ($M_A = M_B$ и $D_A = D_B$), причем как для распределения Гаусса, так и для распределения Лапласа. В этом случае $p_k = 1$. Тогда при отклонении от условия двойного равенства ($M_A \neq M_B$ и $D_A \neq D_B$,) коэффициент p_k будет отклоняться от единицы.

Определение 2. Два распределения сходны между собой с точностью δ ($\delta > 0$), если отклонение между любыми двумя p_i, p_j, ($i, j = \overline{1,n}$, $i \neq j$) не превосходит δ: $| p_i - p_j | < \delta$.

Заметим, что максимальное значение δ для полного набора из n признаков найдется как разность между максимальным и минимальным значениями p_i:

$$\min \delta = \max\{ p_i, i = \overline{1,n}\} - \min\{ p_i, i = \overline{1,n}\}$$

Т.к. коэффициент p_i является мерой сходства двух распределений, то задача состоит в вычислении этих коэффициентов для каждого из признаков и соизмерения их между собой.

Алгоритм решения и результаты

Существует всего девять вариантов взаимного расположения графиков функции плотности распределения. Для каждого варианта рассчитывается площадь пересечения. Полученные значения площадей выстраиваются в порядке возрастания, этим получаем ранжированное множество признаков. Далее вычисляется значения коэффициентов p_i $i = \overline{1,n}$. Так как коэффициент p_i является мерой сходства между рядами.

Работоспособность метода проверялась на базе данных из Висконсинского университета (США) Chemo_569 [2], содержащую содержит информацию о 569 пациентах, имеющих опухоль. Разделение проводилось по двум группам: доброкачественная опухоль или злокачественная.

Прежде проверим по известным алгоритмам принадлежность признаков данной выборки распределениям Лапласа и Гаусса. Проверка выборок проводилась по критерию Колмогорова-Смирнова. Результаты проверки признаков приведены в таблице 1, где признаки, принадлежащие распределению Лапласа или Гаусса с уровнем значимости p-value>0,05, выделены серым цветом.

Таблица 1 - Проверка признаков на принадлежность распределению Лапласа и Гаусса

База Chemo_569	Распределение Лапласа		Распределение Гаусса	
№ признака	Доброкачественная опухоль, 357 пациентов	Злокачественная опухоль, 212 пациентов	Доброкачественная опухоль, 357 пациентов	Злокачественная опухоль, 212 пациентов
RADIUS_1	0,004	0,006	0,011	0,013
TEXTURE_2	0,000	0,144	0,000	0,000
PERIMETR_3	0,000	0,010	0,030	0,049
AREA_4	0,055	0,000	0,200	0,003
SMOOTHNESS_5	0,000	0,031	0,000	0,089
COMPACTNESS_6	0,000	0,000	0,000	0,000
CONCAVITY_7	0,000	0,004	0,000	0,000
CONCAVE_POINTS_8	0,000	0,020	0,000	0,000
SYMMETRY_9	0,042	0,099	0,000	0,000
FRACTAL_DIMENSION_10	0,000	0,020	0,000	0,000
SE_RADIUS_11	0,003	0,001	0,000	0,000
SE_TEXTURE_12	0,000	0,000	0,000	0,000
SE_PERIMETR_13	0,000	0,000	0,000	0,000
SE_AREA_14	0,000	0,001	0,000	0,000
SE_SMOOTHNESS_15	0,000	0,000	0,000	0,000
SE_COMPACTNESS_16	0,000	0,001	0,000	0,000
SE_CONCAVITY_17	0,000	0,000	0,000	0,000
SE_CONCAVE_POINTS_18	0,000	0,000	0,000	0,000
SE_SYMMETRY_19	0,000	0,001	0,000	0,000
SE_FRACTAL_DIMENSION_20	0,000	0,002	0,000	0,000
W_RADIUS_21	0,031	0,004	0,002	0,033
W_TEXTURE_22	0,006	0,056	0,000	0,066
W_PERIMETR_23	0,015	0,002	0,001	0,001
W_AREA_24	0,028	0,002	0,042	0,000
W_SMOOTHNESS_25	0,015	0,258	0,200	0,020
W_COMPACTNESS_26	0,005	0,050	0,000	0,000
W_CONCAVITY_27	0,001	0,000	0,000	0,000
W_CONCAVE_POINTS_28	0,009	0,083	0,065	0,200
W_SYMMETRY_29	0,001	0,001	0,015	0,000
W_FRACTAL_DIMENSION_30	0,001	0,001	0,000	0,000

Из анализа таблицы можно заключить, что ни одно из двух распределений не удовлетворяет полностью критерию Колмогорова-Смирнова.

По вычисленным площадям S_i^{Gauss} и $S_i^{Laplace}$ $i=\overline{1,n}$ находим коэффициенты p_i. Значения площадей и коэффициентов в таблице 2.

Таблица 2 - Значения площадей и коэффициентов

2005 г.		p	2013 г.	
В.Ф. Демьянов, А.В. Кокорина 94,9% (28,23,24,8,21,14)		$\frac{S_Gauss}{S_Laplace}$	И.Д. Колесин, О.А. Трояножко 94,9% (23,28,24,8,21,14)	
S_Gauss	№ признака		№ признака	$S_Laplace$
0,1863	W_CONCAVE_POINTS_28	1,2083	W_PERIMETR_23	0,1542
0,1869	W_PERIMETR_23	1,2108	W_CONCAVE_POINTS_28	0,1544
0,1947	W_AREA_24	1,2526	W_AREA_24	0,1554
0,1958	CONCAVE_POINTS_8	1,2219	CONCAVE_POINTS_8	0,1602
0,196	W_RADIUS_21	1,2223	W_RADIUS_21	0,1604
0,2031	SE_AREA_14	1,1208	SE_AREA_14	0,1812
0,2507	PERIMETR_3	1,2640	PERIMETR_3	0,1983
0,2557	AREA_4	1,2731	AREA_4	0,2009
0,269	RADIUS_1	1,2739	RADIUS_1	0,2112
0,3147	CONCAVITY_7	1,2896	CONCAVITY_7	0,2440
0,3453	SE_PERIMETR_13	1,2173	W_CONCAVITY_27	0,2837
0,3569	SE_RADIUS_11	1,2440	SE_PERIMETR_13	0,2869
0,3712	W_CONCAVITY_27	1,2696	SE_RADIUS_11	0,2924
0,4289	W_COMPACTNESS_26	1,2783	W_COMPACTNESS_26	0,3355
0,4369	COMPACTNESS_6	1,2876	COMPACTNESS_6	0,3393
0,5842	W_SYMMETRY_29	1,2397	W_TEXTURE_22	0,4712
0,5947	W_TEXTURE_22	1,2091	W_SYMMETRY_29	0,4918
0,6329	W_SMOOTHNESS_25	1,2414	W_SMOOTHNESS_25	0,5098
0,6338	TEXTURE_2	1,2422	TEXTURE_2	0,5102
0,6422	SECONCAVEPOINTS_18	1,2386	SECONCAVEPOINTS_18	0,5185
0,6794	WFRACTDIMENSION_30	1,1980	SMOOTHNESS_5	0,5671
0,6877	SMOOTHNESS_5	1,1607	WFRACTDIMENSION_30	0,5925
0,7134	SE_CONCAVITY_17	1,1848	SYMMETRY_9	0,6021
0,7176	SYMMETRY_9	1,1250	SE_CONCAVITY_17	0,6379
0,7505	SE_COMPACTNESS_16	1,1699	SE_COMPACTNESS_16	0,6415
0,8158	SEFRACTDIMENSION_20	0,9768	SEFRACTDIMENSION_20	0,8351
0,8265	SE_SYMMETRY_19	0,9530	SE_SYMMETRY_19	0,8672
0,9037	SE_TEXTURE_12	0,9986	SE_SMOOTHNESS_15	0,9050
0,9397	SE_SMOOTHNESS_15	1,0146	SE_TEXTURE_12	0,9262
0,9439	FRACTDIMENSION_10	0,9877	FRACTDIMENSION_10	0,9557

Из замечания к определению 2 следует, что два распределения сходны между собой с точностью $\delta = 0{,}336$ ($\max p_i = 1{,}2896, \min p_i = 0{,}953$). В таком случае задавая разные $\delta = \bar{\delta} < 0{,}336$ можно выделять признаки, в равной степени удовлетворяющие условию ранжирования $\bar{\delta}$ как распределением Гаусса, так и Лапласа.

Обсуждение

Результаты ранжирования (см. Таблица 2) показывают, что два ряда – один для случая распределения Гаусса, другой –Лапласа – совпадают по полному набору признаков, исключая несколько неточно упорядоченных признаков (сбои). Выделены шесть наиболее информативных признаков (23,28,24,8,21,14), по которым процент правильной классификации составил 94,9%. Значения площадей, полученные при применении распределения Гаусса были любезно предоставлены Демьяновым и Кокориной [1]. Сопоставим результаты разделения при разном количестве признаков. Если дискриминантный анализ, выполненный по шести признакам дал точность разделения 94,9%, то процент правильно распознанных пациентов по всем признакам составил 96,5% . Потеря качества классификации при переходе от использования всех признаков к шести наиболее информативных составляет всего 1,6%, тогда как число признаков сокращается с 30 до 6, т.е. в 5 раз. Следовательно, при незначительной потери качества классификации исходная размерность пространства признаков существенно уменьшается, это и позволяет ограничиваться первыми шестью признаками. Эти результаты исследования могут стать полезными при отделении доброкачественной опухоли от злокачественной.

Заключение

Показана возможность ранжирования признаков путем вычисления площадей пересечения функции плотности распределения как Гаусса, так и Лапласа. Предложен коэффициент подобия, позволяющий оценивать сходство ранжирования диагностических признаков с заданной точностью.

Список литературы

1. *Кокорина А.В*. Оптимизационный подход в задачах математической диагностики: Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико–математических наук. – М.: РГБ, 2005.

2. Wisconsin Prognostic Breast Cancer Chemotherapy Database. Computer Science Dept., University of Wisconsin, Madison, 1999. URL: ftp://ftp.cs.wisc.edu/math–prog/cpo–dataset/machine–learn/cancer/WPBCC/ (дата обращения: 05.05.2013)

05.02.10

П.В. Трусов, Н.С. Кондратьев, В.В. Карманов, А.С. Нуртдинов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра ММСП, ИТМ, Пермь, karmanovs@yandex.ru

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ТРЕНИЯ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Сформулирована в общем виде математическая постановка трехмерной термоупругопластической нестационарной квазистатической контактной задачи, данная постановка конкретизирована с учетом принятых на этапе концептуальной постановки гипотез. Приведены соотношения для определения контактной границы и условий на ней, а также все граничные условия для различных этапов техпроцесса. Проведены термовизионные исследования сварки на образцах алюминиевого сплава марки АД-31 толщиной 3мм, подтверждающие математическую модель.

Ключевые слова: *сварка трением с перемешиванием, прочностные свойства, прочность, температура, тепловизионный комплекс.*

Сварка трением с перемешиванием (СТП) – разновидность сварки трением. Неразъемное соединение деталей конструкции при СТП происходит за счет образование связей между атомами поверхностей конструкции, которые сближаются на расстояние, близкое к параметру кристаллической решетки. В данном процессе необходимый для сварки нагрев деталей осуществляется путем непосредственного преобразования механической энергии в теплоту благодаря работе сил трения.

При сварке трением с перемешиванием термоупрочняемых важно иметь информацию о температуре процесса и распределении температурных полей для отработки оптимальных параметров с целью получения наилучших прочностных характеристик сварного шва. Научной новизной решения данной задачи является построение математической модели, описывающей процесс сварки трением с перемешиванием. Целью моделирования является прогнозирование возникающих при сварке полей распределения температур, деформаций, а также текущих и остаточных напряжений в материале.

В качестве наиболее подходящего для решения поставленной задачи было выбрано использование аппарата механики сплошных сред [1], постановка трехмерной термоупругопластической нестационарной контактной задачи механики деформируемого твердого тела и решение её методом конечных элементов в рамках смешанного эйлерова–лагранжева подхода [2]. При моделировании технологического процесса сварки трением с перемешиванием использована макрофеноменологическая модель материала и с принятыми гипотезами о свойствах материала, процессе с учетом граничных условий.

Математическая постановки задачи сварки трением с перемешиванием заключается в следующем: пусть в произвольный момент времени $t \in (0,\infty)$ тело, которое подвергается сварке, занимает область $\mathbf{r} \in \Omega^t$, $\Omega^t \in R^3$ (трехмерное пространство) с границей $S^t = S_v(t) \cup S_\sigma(t) \cup S^{кон}(t) = S_1(t) \cup S_2(t) \cup S_3(t)$, $S_v(t)$ – часть границы, подвергающаяся кинематическому воздействию, $S_\sigma(t)$ – силовому, для рассматриваемой задачи $S_\sigma(t) = S^{free}(t) \cup S^{\sigma\, load}(t)$, $S^{free}(t)$ – свободная граница, $S^{\sigma\, load}(t)$ – граница с нетривиальными приложенными усилиями, $S^{кон}(t)$ – граница контакта (смешанные

граничные условия), $S_i(t)$ – часть поверхности с температурными граничными условиями i-го рода, $\overline{\Omega}^t = \Omega^t \cup S^t$.

Необходимо определить поля температур θ, скоростей перемещений v и напряжений $\boldsymbol{\sigma}$ для любого $t \in (0, \infty)$, удовлетворяющие следующей системе уравнений:

уравнениям движения в скоростях для квазистатической задачи

$$\hat{\nabla} \cdot \dot{\boldsymbol{\sigma}} + \hat{\nabla} \cdot (\mathbf{v} \cdot \hat{\nabla}\boldsymbol{\sigma}) + \dot{\mathbf{F}} - \mathbf{v} \cdot \hat{\nabla}\mathbf{F} = 0,\ \mathbf{r} \in \Omega^t, \quad (1.1)$$

определяющим соотношениям (ОС)

$$\boldsymbol{\sigma}^R = \boldsymbol{\Pi} : \mathbf{D} + \mathbf{B}\dot{\theta} + \mathbf{R}, \qquad \mathbf{r} \in \overline{\Omega}^t, \quad (1.2)$$

уравнению теплопроводности

$$\tilde{m}\gamma\dot{\theta} = \hat{\mathbf{C}} \cdot (\lambda\hat{\mathbf{C}}\,\theta) + Q, \qquad \mathbf{r} \in \Omega^t, \quad (1.3)$$

кинематическим соотношениями

$$\mathbf{D} = \frac{1}{2}\left(\hat{\mathbf{C}}\,\mathbf{v} + \mathbf{v}\hat{\mathbf{C}}\right), \mathbf{r} \in \overline{\Omega}^t. \quad (1.4)$$

граничным условиям

кинематическими

$$v = v^*,\ \mathbf{r} \in S_v^t; \quad (1.5)$$

силовыми

$$\mathbf{n} \cdot \dot{\boldsymbol{\sigma}} - (\hat{\nabla}\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) \cdot \boldsymbol{\sigma} + (\mathbf{n} \cdot \hat{\nabla}\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})\mathbf{n} \cdot \boldsymbol{\sigma} = \dot{\mathbf{T}}^*, \qquad \mathbf{r} \in S_\sigma^t; \quad (1.6)$$

температурными 2 рода

$$\lambda(\mathbf{n} \cdot \hat{\nabla}\theta) = q^*,\ \mathbf{r} \in S_2^t; \quad (1.7)$$

при начальных условиях

кинематических

$$u(r) = u^0, \qquad \mathbf{r} \in \overline{\Omega}^0; \quad (1.8)$$

статических

$$\hat{\nabla} \cdot \boldsymbol{\sigma}^0 + \hat{\mathbf{F}}^0 = 0,\ \mathbf{r} \in \Omega^0; \quad (1.9)$$

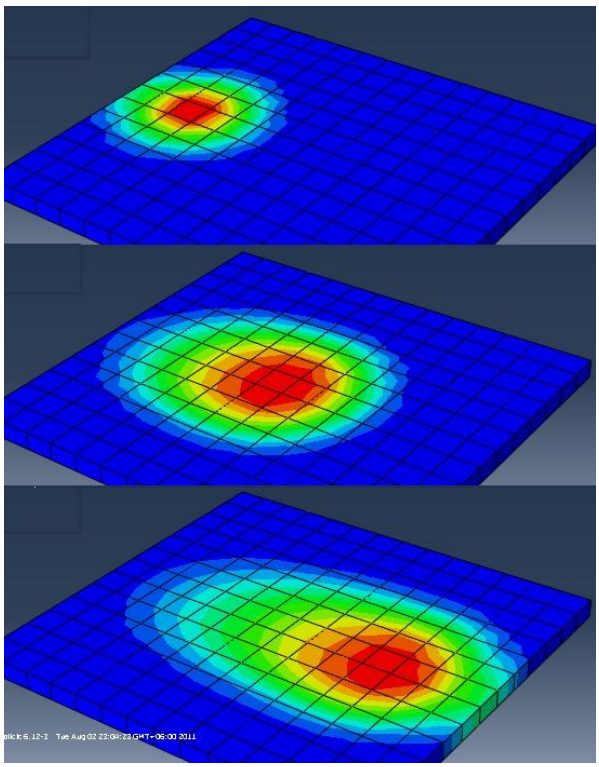
$$\mathbf{n} \cdot \boldsymbol{\sigma}^0 = \hat{\mathbf{T}}^0,\ \mathbf{r} \in S_\sigma^0; \quad (1.10)$$

температурных

$$\theta = \theta^0(\mathbf{r}),\ \mathbf{r} \in \overline{\Omega}^0. \quad (1.11)$$

Заметим, что для реализации условий при использовании численных методов, например, метода конечных элементов, применяются алгоритмы, основанные на переходе к локальной естественной системе координат. Введенные условия определения зоны контакта и ее участков позволяют находить не только моменты начала контакта частиц деформируемой среды с инструментом, но и моменты временного нарушения контакта, отхода материала от инструмента (так называемые зоны отлипания). Как оказалось, последние существуют во многих реальных процессах, причем учет зон отхода материала от инструмента приводит к существенному изменению результатов расчета напряженно-деформированного состояния среды.

Решение задачи моделирования ищется на множестве непрерывных функций f(t,r) времени t и координат точки r исследуемой области Ω (t), которая, в свою очередь, изменяется во времени. Вследствие того, что искомые функции зависят от нескольких переменных, оператор математической модели представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных, а наличие начальных и краевых условий позволяет ее отнести к начально-краевым задачам. Наличие в задаче существенной нелинейности, исключает возможность построения аналитического решения и заставляет обратиться к применению приближенных методов вычислительной математики.



В качестве метода решения поставленной задачи использовался метод конечных элементов [3, 4] с использованием конечно-элементного программного комплекса Abaqus.

На рис. 1 приводятся модель распределения температуры, построенной на основе результатов численного моделирования. Образец из сплава алюминия АД-31. Угловая скоростью вращения инструмента 800 об/мин, линейная подача со скоростью 300 мм/мин.

Рис. 1. Модель распределения температуры

Для апробации модели распределения температур с реальным процессом были проведены эксперименты по определению температуры с помощью тепловизионного комплекса NEC NH2640 (Япония) в процессе сварки трением с перемешиванием образов из сплава АД-31 (Рис. 2). Согласно расчетному численному методу, температура в зоне сварке - 230-260°, а данные полученные экспериментально с помощью тепловизионного комплекса - 185-230°. Экспериментальные значения температуры ниже расчетных, так как тепловизионный комплекс показывают температуру на внешних поверхностях, а не в зоне сварке. Кроме того, контролировать температуру алюминиевых сплавов достаточно сложно из-за наличия неоднородности оксидных пленок. Но в целом, можно утверждать о сходимости экспериментальных и расчетных методов.

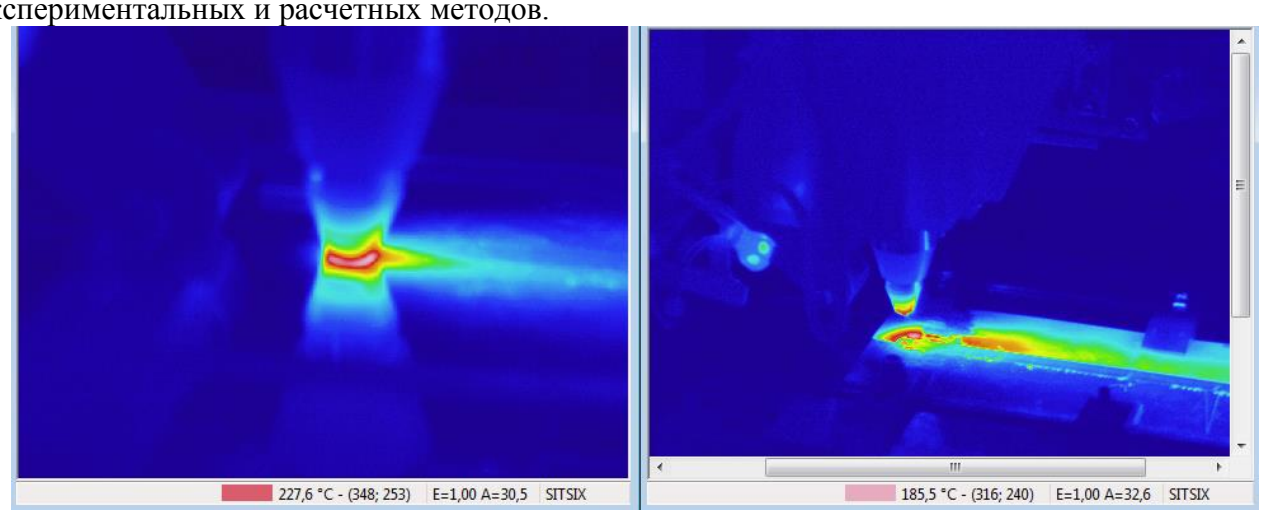


Рис. 2. Распределение температуры

Таким образом, разработанная модель позволяет прогнозировать распределение полей температур в процессе сварки трением в различных стадиях - от внедрения инструмента в заготовки до выхода инструмента из сваренной детали. Проведена апробация математической модели на основе тепловизионных исследований. Полученная модель пригодна для отработки технологии сварки трением с перемешиванием термоупрачняемых сплавов, типа алюминиевого сплава АД-31. По представленной модели процесса сварки

трением с перемешиванием можно прогнозировать процессы влияющие на качесвто сварного шва и, соотвественно, подбирать оптимальные режимы сварки трением.

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «ПНИПУ» при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

Список литературы

1. *Бердичевский В.Л.* Вариационные принципы механики сплошной среды. М.: Наука, 1983. - 448 с.
2. *Поздеев А.А., Трусов П.В., Няшин Ю.И.* Большие упругопластические деформации: теория, алгоритмы, приложения. М.: Наука. 1986. 232 с.
3. *Галлагер Р.* Метод конечных элементов. Основы. М.: Мир. 1984. - 428 с.
4. *Данилин А., Зуев Н., Снеговский Д., Шалашилин В.* Об использовании метода конечных элементов при решении геометрически нелинейных задач // САПР и графика. – 2000, №2. – С. 60-64.

05.13.18

Т.Е. Фазлутдинова, В.Н. Куракина

Оренбургский государственный аграрный университет, Институт управления рисками и комплексной безопасности, кафедра техносферной и информационной безопасности, Оренбург, fataeva84@bk.ru

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СЛОИСТОЙ СРЕДЕ

Рассматривается задача о распространении двумерных упругих волн в слоисто-неоднородной среде, состоящей из произвольного числа слоев, в случае, когда направление динамического возмущения перпендикулярно слоям. Метод пространственных характеристик применен для расчета слоистых тел. Получены численные результаты для пятислойного тела прямоугольного сечения конечных размеров, характеристики которого скачком меняются на границе слоев.

Ключевые слова: *напряжения, слоистая среда, неоднородная среда, метод пространственных характеристик.*

Рассмотрим задачу о распространении двумерных упругих волн в слоисто-неоднородном упругом изотропном теле, состоящим из произвольного числа слоев, в случае, когда направление динамического возмущения перпендикулярно слоям. Задача решается методом пространственных характеристик [2,с.89-97]. В развитии работы [3, с.63-68] здесь получена разрешающая система уравнений для узловых точек, лежащих на контактной линии. Проведен анализ динамических эффектов распределения напряжений в окрестности угловых точек и контактной поверхности.

Согласно [3], уравнения, описывающие малые динамические деформации в слоистых изотропных линейно-упругих телах в случае плоской задачи, можно записать в следующей безразмерной форме:

$$\begin{cases} \dfrac{1}{\rho_i}u_{i,t} - p_{i,x} - q_{i,x} - \tau_{i,y} = 0; \\ \dfrac{1}{\rho_i}v_{i,t} - p_{i,x} + q_{i,x} - \tau_{i,y} = 0; \\ \rho_i \dfrac{\gamma_{1i}^2\gamma_{2i}^2}{\gamma_{1i}^2 - \gamma_{2i}^2}p_{i,t} - u_{i,x} - v_{i,y} = 0; \\ \rho_i\gamma_{2i}^2 q_{i,t} - u_{i,x} - v_{i,y} = 0; \\ \rho_i\gamma_{2i}^2\tau_{i,t} - u_{i,x} - v_{i,y} = 0. \end{cases}$$

Запятая перед индексом означает частное дифференцирование по соответствующей переменной; i – номер слоя. Безразмерные скорости u_i, v_i, напряжения p_i, q_i, τ_i определяются через соответствующие размерные величины:

$$u_i = \frac{u_i^0}{a_k^0}, \quad v_i = \frac{v_i^0}{a_k^0}, \qquad t = \frac{a_k^0 t^0}{l}, \qquad x = \frac{x^0}{l}, \qquad y = \frac{y^0}{l};$$

$$p_i = \frac{\sigma_{xx}^i + \sigma_{yy}^i}{2\rho_k^0(a_k^0)^2}, \quad q_i = \frac{\sigma_{xx}^i - \sigma_{yy}^i}{2\rho_k^0(a_k^0)^2}, \quad \tau_i = \frac{\tau_{xy}^i}{\rho_k^0(a_k^0)^2}, \quad \rho_i = \frac{\rho_k^0}{\rho_i^0};$$

$$\gamma_{1i} = \frac{a_k^0}{a_i^0}, \quad \gamma_{2i} = \frac{a_k^0}{b_i^0}, \quad a_i^0 = \sqrt{\frac{\lambda_i^0 + 2\mu_i^0}{\rho_i^0}}, \quad b_i^0 = \sqrt{\frac{\mu_i^0}{\rho_i^0}},$$

Где индекс «*0*» обозначает размерную величину; a_i, b_i – скорости волн расширения и сдвига, l – характерная длина, λ_i, μ_i - постоянные Ламе материала i-го слоя; a_k – максимальная скорость распространения продольных волн в слое ($a_k^0 = \max a_i^0$).

Постановка задачи. Рассмотрим слоистое тело (механические характеристики изменяются при переходе от слоя к слою), плоское сечение которого является прямоугольник конечных размеров. В начальный момент времени *t=0* тело находится в состоянии покоя

$$u_i = v_i = p_i = q_i = \tau_i = 0 \ (i = 1, 2, \dots, n).$$

В любой момент времени *t>0* на границе *x=0* действует нагрузка

$$p_1+q_1=f(y;t),\ \tau_i =0;$$

противоположная граница *x=L* свободна от напряжений

$$p_n+q_n = \tau_n =0;$$

боковые поверхности *|y|=l* жестко защемлены

$$u_i=v_i=0;$$

на границе раздела слоев $x=x_i$ ($x_i=L_1+L_2+\dots+L_n$) выполняются условия жесткого контакта, непрерывность вектора скоростей и напряжений

$$\begin{cases} p_i + q_i = p_{i+1} + q_{i+1}, \tau_i = \tau_{i+1}; \\ u_i = u_{i+1}\,, v_i = v_{i+1}. \end{cases}$$

Математическая задача сводится к интегрированию системы уравнений (1) при нулевых начальных условиях (2) и граничных условиях (3)-(6).

В [последнем] описан способ составления расчетных формул для внутренних и внешних контурных точек каждого слоя.

В произвольной внутренней точке x=xi, y=y0, принадлежащей линии контакта соседних слоев *(i и i+1)*, разрешающая система уравнений может быть получена следующим образом [2, с.89-97]. Эта точка одновременно принадлежит границе *i*-го и *i+1*-го слоя. Для точки, принадлежащей границе *i*-го слоя, получим систему трех уравнений относительно приращений пяти искомых функций, аналогично - для граничной точки *i+1*-го слоя. Присоединяя условия на контактной линии (6) к полученной системе шести уравнений, запишем следующую замкнутую систему:

$$\frac{2}{\rho_i}\delta u_i - \frac{2\gamma_{1i}\gamma_{2i}^2}{\gamma_{2i}^2-\gamma_{1i}^2}\delta p_i =$$
$$= -\frac{k^2}{\rho_i}\left(\frac{1}{\gamma_{2i}^2}-\frac{1}{\gamma_{1i}^2}\right)v_{i,xy} - \frac{2k^2}{\gamma_{1i}}\tau_{i,xy} - \frac{k^2}{\gamma_{1i}}\left(p_{i,yy}-q_{i,yy}\right) + \frac{1}{\rho_i}\left(\frac{k}{\gamma_{2i}}\right)^2 u_{i,yy}$$
$$-\frac{2k}{\rho_i\gamma_{1i}}\left(u_{i,x}+v_{i,y}\right) + 2k\left(p_{i,x}+q_{i,x}+\tau_{i,y}\right);$$

$$\frac{2}{\rho_i}\delta u_i - \frac{2\gamma_{2i}^2}{\gamma_{1i}}\delta q_i =$$
$$= -\frac{k^2}{\rho_i}\left(\frac{1}{\gamma_{2i}^2}-\frac{1}{\gamma_{1i}^2}\right)v_{i,xy} + \frac{1}{\rho_i}\left(\frac{k}{\gamma_{2i}}\right)^2 u_{i,yy} + \frac{k^2}{\gamma_{1i}}\left(p_{i,yy}-q_{i,yy}\right) - \frac{2k}{\rho_i\gamma_{1i}}\left(u_{i,x}-v_{i,y}\right)$$
$$+ 2k\left(p_{i,x}+q_{i,x}+\tau_{i,y}\right);$$

$$\frac{2}{\rho_i}\delta v_i - 2\gamma_{2i}\delta\tau_{i=}$$
$$= -\frac{k^2}{\rho_i}\left(\frac{1}{\gamma_{2i}^2}-\frac{1}{\gamma_{1i}^2}\right)u_{i,xy} + \frac{1}{\rho_i}\left(\frac{k}{\gamma_{2i}}\right)^2 v_{i,yy} - \frac{2k^2}{\gamma_{2i}}p_{i,xy} - \frac{k^2}{{\gamma_{2i}}^2}\tau_{i,yy}$$
$$-\frac{2k}{\rho_i\gamma_{1i}}\left(u_{i,y}+v_{i,x}\right) + 2k\left(p_{i,y}-q_{i,y}+\tau_{i,x}\right);$$

$$\frac{2}{\rho_{i+1}}\delta u_{i+1} + \frac{2\gamma_{1i+1}\gamma_{2i+1}^2}{\gamma_{2i+1}^2-\gamma_{1i+1}^2}\delta p_{i+1}$$
$$= \frac{2k^2}{\gamma_{1i+1}}\tau_{i+1,xy} - \frac{k^2}{\rho_{i+1}}\left(\frac{1}{\gamma_{2i+1}^2}-\frac{1}{\gamma_{1i+1}^2}\right)v_{i+1,xy} + \frac{k^2}{\gamma_{1i+1}}\left(p_{i+1,yy}-q_{i+1,yy}\right)$$
$$+\frac{1}{\rho_{i+1}}\left(\frac{k}{\gamma_{2i+1}}\right)^2 u_{i+1,yy} + \frac{2k}{\rho_{i+1}\gamma_{1i+1}} \times\times \left(u_{i+1,x}+v_{i+1,y}\right)$$
$$+ 2k\left(p_{i+1,x}+q_{i+1,x}+\tau_{i+1,y}\right);$$

$$\frac{2}{\rho_{i+1}}\delta u_{i+1}+\frac{2\gamma_{2i+1}^2}{\gamma_{1i+1}}\delta q_{i+1}=$$
$$=-\frac{k^2}{\rho_{i+1}}\left(\frac{1}{\gamma_{2i+1}^2}-\frac{1}{\gamma_{1i+1}^2}\right)v_{i+1,xy}+\frac{1}{\rho_{i+1}}\left(\frac{k}{\gamma_{2i+1}}\right)^2 u_{i+1,yy}$$
$$-\frac{k^2}{\gamma_{1i+1}}\left(p_{i+1,yy}-q_{i+1,yy}\right)+2k\left(p_{i+1,x}+q_{i+1,x}+\tau_{i+1,y}\right)$$
$$+\frac{2k}{\rho_{i+1}\gamma_{1i+1}}\left(u_{i+1,x}-v_{i+1,y}\right);$$
$$\frac{2}{\rho_{i+1}}\delta v_{i+1}+2\gamma_{2i+1}\delta\tau_{i+1}=$$
$$=-\frac{k^2}{\rho_{i+1}}\left(\frac{1}{\gamma_{2i+1}^2}-\frac{1}{\gamma_{1i+1}^2}\right)u_{i+1,xy}+\frac{1}{\rho_{i+1}}\left(\frac{k}{\gamma_{2i+1}}\right)^2 v_{i+1,yy}+\frac{2k^2}{\gamma_{2i+1}}p_{i+1,xy}$$
$$+\frac{k^2}{\gamma_{2i+1}}\tau_{i+1,yy}+2k\times\left(p_{i+1,y}-q_{i+1,y}+\tau_{i+1,x}\right)+\frac{2k}{\rho_{i+1}\gamma_{2i+1}}\left(u_{i+1,y}+v_{i+1,x}\right);$$
$$\delta u_i=\delta u_{i+1},\delta v_i=\delta v_{i+1},\delta p_i+\delta q_i=\delta p_{i+1}+\delta q_{i+1},\delta\tau_i=\delta\tau_{i+1}.$$

Точки $x=x_i$, $|y|=l$ боковых поверхностей, лежащих на линии контакта i-го и $i+1$-го слоя, рассмотрим как угловые точки данных слоев. Решение в каждой из этих точек можно получить их четырех уравнений, описывающих краевые условия на соответствующей границе, и четырех уравнений для приращения искомых функций в данной точке.

Численные результаты проведены для пятислойного тела прямоугольного сечения. Исследование устойчивости [1,с.26-30] показало, что сеточное отношение равное 0,5 обеспечивает устойчивые результаты для достаточного большого времени.

Из анализа расчетов видно, что выполняются все граничные условия. Свойства отдельных слоев определяют характер распределения скоростей и нормальных напряжений $p+q$ в слоистой среде. Распределение продольных скоростей представляется кривыми, наклоны которых резко меняются при переходе границы слоев.

Очевидно, что продольная скорость в слоях с меньшими жесткостными характеристиками убывает быстрее, чем в слоях с высокими характеристиками жесткости.

Зависимость нормального компоненты напряжения представляет гладкую убывающую кривую с изменяющимися наклонами при переходе границы слоев. Большие наклоны кривых соответствуют слоям с высокими жесткостными характеристиками, а малые – меньшим жесткостным характеристикам. Распределение напряжений по глубине в слоях с меньшими жесткостными характеристиками более равномерно, чем в слоях с высокими жесткостными характеристиками.

Список литературы

1. *Акимов И.А., Фазлутдинова Т.Е.* Испытание на ударную вязкость композиционных материалов, изготовленных методом полимеризации // Вестник ОГПУ. 2011. №2 (58). С.26-30

2. *Каримбаев Т.Д., Мамаев Ш, Такабаев М.К.*. Волны напряжений в слоистой среде / Т.Д. Каримбаев, Ш. Мамаев, М.К. Такбаев // Теоретические и прикладные вопросы математического моделирования. – Алма-Ата: Наука, 1986. – С. 89-97

3. *Фазлутдинова Т.Е.* Связь между термическими напряжениями и деформациями для многослойных конструкций из полимерных материалов / Т.Е. Фазлутдинова // Физико-математические науки и информационные технологии: прошлое, настоящее, будущее: мат. международной научно-практ. конф. - Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. – С.63-68

05.13.18

[1]В.Г. Фетисов д.ф.-м.н., [2]И.В. Фетисов к.т.н., [3]И.И. Панина

[1]Южный математический институт ВНЦ РАН,
лаборатория прикладного нелинейного анализа, Владикавказ, fetisov_vg@sssu.ru

[2]ООО «Пневмакс», отдел автоматизации, Москва, fetisov_vg@sssu.ru

[3]Южный математический институт ВНЦ РАН,
лаборатория прикладного нелинейного анализа, Владикавказ, ira2446@yandex.ru

НЕКОТОРЫЕ ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ H_λ-ОПЕРАТОРЫ

Рассматриваются задача синтеза нелинейной динамической системы Вольтерра, содержащей H_λ-оператор входа-выхода, в среде локально ограниченных пространств, метод регуляризации и оптимальная оценка параметра регуляризации.

Ключевые слова: *синтез, локально ограниченные пространства, H_λ-оператор, интегро-степенной ряд Вольтерра, оценка параметра регуляризации.*

Введение

Наиболее важными в приложениях являются нелинейные динамические системы (НДС). В традиционном понимании задача синтеза состоит в нахождении таких значений параметров рассматриваемой системы, которые обеспечивают ее наилучшую структуру [2]. Как известно, исследование вопроса о синтезе системы существенно упрощается, если его рассматривать с позиций операторного подхода (вход-выход), используя так называемые H_λ-операторы (см., подробнее [3]).

Данная работа состоит из двух частей. Первая содержит основные определения локально ограниченных функциональных пространств (ЛОФП) как среды НДС, H_λ-оператора и некоторые нерешенные вопросы.

Вторая часть посвящена синтезу НДС на модельном примере интегро-степенного ряда Вольтерра по критерию минимума среднеквадратической ошибки и последующей оптимальной оценке метода регуляризации.

Локально ограниченные пространства и H_λ-операторы

Целесообразно упомянуть [2], что выбор того или иного пространства в качестве внешней среды к системе является определяющим для конкретного метода синтеза. К настоящему времени при операторном подходе к синтезу НДС наиболее используемыми являются ЛОФП (см. рис.1).

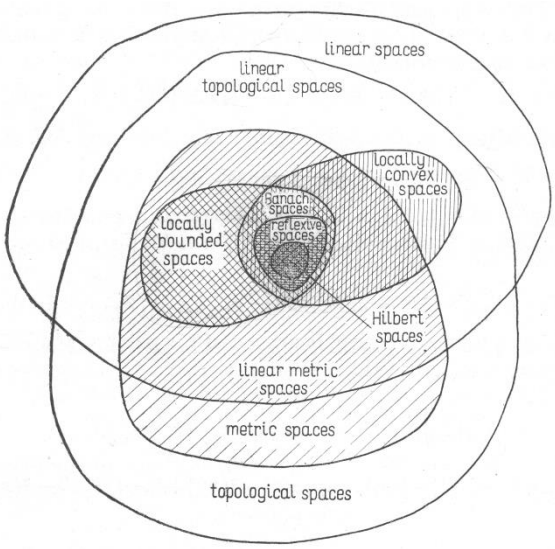


Рис. 1. – Схема расположения функциональных пространств

$\mathbb{R}^+ = \{x \in \mathbb{R} \mid x \geq 0\}$ – поле вещественных неотрицательных чисел, $\mathbb{C}$ – пространство непрерывных функций, *M* – пространство измеримых по Лебегу функций, $L^p(\mathbb{R})$ $(0 < p < \infty)$ – пространство измеримых функций $u(t)$ действительного аргумента $t \in \mathbb{R}$ с *p*-интегрируемым модулем, для которых:

$$L^p(\mathbb{R}) = \{u(t) : u(t) \in M, t \in \mathbb{R}, \int_{-\infty}^{\infty} [u^*(t)u(t)]^{\frac{p}{2}} dt < +\infty\}, \quad (1)$$

где $u^*(t)$ – эрмитово сопряженная функция к исходной измеримой функции $u(t) \in M$.

F-норма элемента $u(t) \in L_\infty(\mathbb{R})$ определяется по формуле:

$$\| u; L_\infty(\mathbb{R}) \| = \operatorname{vrai}\max \sqrt{u^*(t)u(t)}, \ \forall t \in \mathbb{R}^+. \quad (2)$$

В монографии [3] (с.с. 20-30) рассмотрен ряд локально ограниченных пространств, являющихся основой для среды НДС, из которых наиболее широкой топологией обладают пространства Орлича.

Локально ограниченное пространство Орлича $L^{*\Phi}$ состоит из измеримых по Лебегу функций $u(t)$, определенных на компактном множестве $\Omega \subset \mathbb{R}^n$, порождаемые неотрицательной неубывающей функцией Юнга Ф, с помощью интегрального модуляра $\Gamma_\Phi(u) = \int_\Omega \varphi[u(t)]dt < +\infty$.

Обозначим через $\Phi(x, y)$ произвольную седловую функцию Юнга, через $\Gamma_\Phi(x, y)$ – интегральный модуляр, $L^{*\Phi}(\Omega)$ – локально ограниченное *F*-квазинормированное пространство Орлича, где

$$\left\| x; L^{*\Phi} \right\| = \inf \left\{ \varepsilon > 0 : \Gamma_\Phi \left(\frac{|(x,\cdot)|}{\varepsilon} \right) \leq \varepsilon \right\}. \quad (3)$$

Структура данного пространства к настоящему времени практически не исследована, хотя решение некоторых прикладных задач представляет существенный интерес для оценок двойственного зазора в невыпуклом программировании для случая адаптивных НДС [2].

Как уже отмечалось, исходная нелинейная система содержит H_λ-оператор, суть которого в следующем (подробнее см. [3]).

Пусть E_1 и E_2 – два ЛОФП измеримых по Лебегу функций, оператор A: $E_1 \to M$, $\forall x \in E_1$. Назовем оператор A H_λ-оператором, если для $\forall \nu \in E_1$ выполняется условие:

$$\left\|A(\nu)-A(\nu+\lambda x);E_2\right\|\le H(\left\|A(\nu)-A(\nu+\lambda\chi_{D_1}x);E_2\right\|)+H(\left\|A(\nu)-A(\nu+\lambda\chi_{D_2}x);E_2\right\|),\quad(4)$$

где функция H: $\mathbb{R}^+\to\mathbb{R}^+$ принадлежит классу $\Phi(L)$, для каждого элемента $x\in E_1$ и для любых измеримых подмножеств D_1 и D_2 из Ω таких, что $D_1\cup D_2=\Omega$ и $D_1\cap D_2=\varnothing$, χ_{D_i} – индикатор множества D_i, i=1,2 и $\lambda\in\mathbb{R}$.

Частными примерами H_λ-оператора A являются: оператор суперпозиции (Немыцкого), нелинейные атомические интегральные операторы Гаммерштейна, Урысона, интегро-степенные ряды Вольтерра, нормальные интегранты, локально определенные операторы.

Остаются нерешенными представляющие большой научно-практический интерес следующие проблемы теории H_λ-операторов:

- построить по заданной НДС соответствующую ей оптимальную внешнюю среду, в которой H_λ-оператор системы обладал бы нужными свойствами;
- найти интегральное или псевдоинтегральное представление произвольного H_λ-оператора в заданной паре ЛОФП;
- какова взаимосвязь между нелинейными операторами, подчиняющимися условиям Каратеодори, нормальными интегрантами и произвольными H_λ-операторами, действующими в ЛОФП [3].

Синтез нелинейных систем по критерию минимума среднеквадратической ошибки и метод регуляризации

Во второй части статьи рассматривается задача синтеза нелинейной системы с заданной структурой по критерию минимума среднеквадратической ошибки на модельном примере нелинейного интегро-степенного ряда Вольтерра. Следует заметить, что такой подход имеет некоторые преимущества с точки зрения упрощения процедуры расчета.

В заключение, для данной пары разных по топологической структуре локально ограниченных функциональных пространств E_1 и E_2 получена оптимальная оценка параметра регуляризации.

Предположим, что случайный сигнал $x(t)$ на входе системы представляет собой аддитивную смесь полезного сигнала $s(t)$ и помехи $n(t)$

$$x(t)=s(t)+n(t),\quad(5)$$

где случайные функции $s(t)$ и $n(t)$ стационарны в узком смысле и стационарно связаны. Требуется, измеряя сигнал $x(t)$, осуществить преобразование полезного сигнала $s(t)$, заданное функцией $\Phi[\cdot]$:

$$z(t)=\Phi[s(t)].\quad(6)$$

Другими словами, надо определить такое преобразование $F[\cdot]$ сигнала $x(t)$:

$$y(t)=F[x(t)],\quad(7)$$

при котором случайные процессы $z(t)$ и $y(t)$ оказались бы близкими по некоторому критерию. В качестве такого критерия мы использовали минимум среднеквадратического отклонения сигнала y от сигнала z, то есть

$$M\{[y(t)-z(t)]^2\}=M\{(F[x(t)]-\Phi[s(t)])^2\}=\min.\quad(8)$$

Задача состоит в выделении полезного сигнала $s(t)$ из аддитивной смеси его с помехой $n(t)$ по критерию минимума среднеквадратической ошибки

$$M\{(F[x(t)]-s(t))^2\}=\min.\quad(9)$$

Задачу об оптимальном преобразовании сигнала (8) целесообразно формулировать как задачу минимизации в ЛОФП, элементы которого F, Φ, определены на множестве реализаций случайного процесса.

Сначала рассматривалось прямое произведение $Z=X\times S$ пространств X, S реализаций случайных процессов $x(t)$ и $s(t)$.

Предполагая известной совместную плотность вероятности

$$p_{x,s,n,m}(x_1,\dots,x_n,y_1,\dots,y_m,t_1,\dots,t_n,\tau_1,\dots,\tau_m),\quad(10)$$

строилась вероятностная мера в пространстве Z.

Показано, что решение основной задачи, выражаемое равенством

$$(F[x]-\Phi(s),\ \ F[x])_{L_2(Z)}=0, \tag{11}$$

представляет собой полином Вольтерра степени N, имеющий вид:

$$F[x]=F_N[x]=\sum_{n=0}^{N}\int_{E_+^n}k_n(\tau_1,...,\tau_n)\prod_{r=1}^{n}x(t-\tau_r)d\upsilon_\tau, \tag{12}$$

Опуская промежуточные выкладки в силу краткости изложения, приведем итоговую формулу (с использованием некоторых соображений из [2]):

$$\sum_{m=0}^{N}\int_{E_+^m}k_m(\xi_1,...,\xi_m)\times m_x^{(n+m)}(\tau_1-\tau_2,...,\tau_1-\tau_n,\tau_1-\xi_1,...,\tau_1-\xi_m)d\nu_\xi=m_{sx}^{(1,n)}(\tau_1,\tau_2,...,\tau_n). \tag{13}$$

В заключение отметим, что оптимальный синтез в виде интегро-степенного ряда Вольтерра позволяет исследовать НДС с мягкими инерционными нелинейностями и занимает определенный промежуток между методами синтеза линейных систем и методами синтеза нелинейных систем с существенными нелинейностями.

Опишем кратко основную идею метода регуляризации, предлагаемого нами во второй части работы, для произвольной системы, содержащей H_λ-оператор.

Рассмотрим уравнение $Ax=y$, содержащее H_λ-оператор A, где A непрерывен и ограничен; $x=x(t)$, $y=y(t)$ – входной и выходной сигналы, являющиеся элементами ЛОФП E_1 и E_2 соответственно, причем выход y нам задан. Требуется найти из уравнения $Ax=y$ функцию $x=x(t)$. Решение уравнений такого рода неустойчиво к изменению данных задачи, если пространства E_1 и E_2 имеют разную топологию. Решение исходного уравнения может даже не существовать в том пространстве, в котором требуется его найти (подробнее см. [3]).

В частности, задача о решении полиномиальных систем интегральных уравнений, определяющих оптимальный нелинейный фильтр, в общем случае является некорректной по Адамару-Тихонову, так как точное решение $\bar{x}$ неустойчиво к невязкам правой части. Используем нелинейный регуляризующий функционал вида:

$$M_\alpha(x)=\varphi(Ax-\bar{y})+\alpha\cdot f(x), \tag{14}$$

где $\alpha>0$ (так называемый параметр регуляризации), $\varphi(\cdot)$ и $f(\cdot)$ – некоторые функции класса $\Phi(L)$, $\bar{y}$ – образ точного решения $\bar{x}$.

Решая уравнение $A^*\cdot Ax+\alpha\cdot x=A^*y$ (где A^* – оператор, сопряженный к оператору A), получим семейство регуляризованных приближенных решений $\{x_\alpha\}$ для исходного уравнения $Ax=y$ в том смысле, что при $\alpha\to 0$ выполняется предельное соотношение $\lim\limits_{\alpha\to 0}\left\|(Ax_\alpha-\bar{y});E_2\right\|=0$.

Далее в работе показано, что семейство регуляризованных приближенных решений $\{x_\alpha\}$ стремится к точному решению $\bar{x}$ исходного уравнения $Ax=y$ при $\alpha\to 0$, иными словами, $\lim\limits_{\alpha\to 0}\left\|(x_\alpha-\bar{x});E_1\right\|=0$, чем и заканчивается процесс оптимальной фильтрации.

Будем говорить, что оператор A задачи подчиняется условию $(\tilde{A})$, если выполняются неравенства:

$$\left\|Ax;E_2\right\|\le\psi(\left\|x;E_1\right\|)\ \text{и}\ \frac{\left\|A'(x);E_2\right\|}{\left\|f'(x);E_2\right\|}\le\gamma(\left\|x;E_1\right\|), \tag{15}$$

где вещественнозначные функции $\psi(\cdot)$ и $\gamma(\cdot)$ определены и строго монотонны на $\mathbb{R}^+$ и, если одна из функций возрастает, то другая убывает.

Пусть известно, что точка $x\in E_1, x\ne\theta_{E_1}$ (θ_{E_1} – нуль пространства E_1), реализует локальный минимум функционала $M_\alpha(x)$, а H_λ-оператор подчиняется условию $(\tilde{A})$. Тогда справедлива следующая оценка для параметра α, где последний выбирается по «точной невязке» δ, то есть априорно задана невязка $\delta=\left\|Ax-y_\delta;E_2\right\|$:

$$\alpha \le \frac{\gamma[\psi^{-1}(\|y_\delta; E_2\| - \delta)]}{\|\varphi'(\delta); E_2\|}. \qquad (16)$$

Список литературы

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5-и т.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.3: Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 616 с.

2. *Никитин А.В.* Параметрический синтез нелинейных систем автоматического управления / А.В. Никитин, В.Ф. Шишлаков. – СПбГУАП: СПб, 2003. – 358 с.

3. *Фетисов В.Г.* Операторы и уравнения в линейных топологических пространствах / В.Г. Фетисов, В.И. Филиппенко, В.Н. Козоброд. – Владикавказ: ЮМИ ВНЦ РАН, 2006. – 432 с.

4. *Халил Х.К.* Нелинейные системы. – Ижевск : РХД, 2009. – 832 с.

5. *Blondel V.* Unsolved problems in mathematical systems and control theory. – Princeton University Press, 2004. – 334 p.

05.23.03

П.А. Хаванов д.т.н., Ю.Г. Маркевич

Московский государственный строительный университет, Москва

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Рассмотрены и проанализированы теплотехнические параметры конденсационных котлов в автономных системах теплоснабжения. Сформулированы основные допущения при моделировании процесса. Разработана физическая модель процесса, обоснована методика получения обобщающихся зависимостей по теплообмену определенного термического сопротивления теплопередачи, его среднего значения и толщины конденсационной пленки на поверхности вертикальной пластины.

Ключевые слова: *конденсационный котел, теплотехнические параметры, теплообмен.*

В последнее время широкое распространения и применение в автономных системах теплоснабжения на территории РФ получили конденсационные котлы.

Существенный эффект от использования теплоты конденсации водяных паров из продуктов сгорания обусловлен как значительным их количеством в продуктах сгорания при сжигании топлива с высоким содержанием водорода в горючих компонентах, так и уникальными свойствами воды, имеющей аномально большую скрытую теплоту парообразования (конденсации), так при атмосферном давлении r=2270 кДж/кг(540 ккал/кг) следует отметить, что с уменьшением парциального давления водяных паров скрытая теплота парообразования увеличивается. Для наглядности можно графически отобразить соотношение теплоты парообразования при атмосферном давлении и теплоты нагрева от 0 до 100 ^{o}C 1кг воды на диаграмме конденсации 1 кг сухого насыщенного пара при стационарном режиме отвода теплоты (рис.1).

Необходимо отметить, что количество образующихся водяных паров в продуктах сгорания топлива складывается из трех составляющих:

-от сгорания H^r водорода в составе топлива;

-от испарения влаги топлива W^r при его горении;

-влагиV вносимой воздухом на горение (влагосодержание d=0,016 г/кг с.в.)

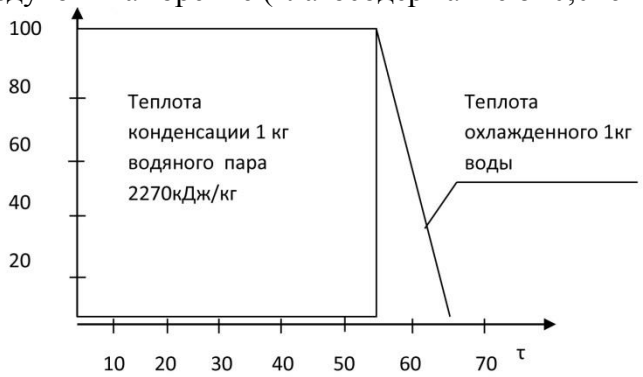


Рисунок 1 диаграмма конденсации 1 кг сухого насыщенного пара при стационарном режиме отвода теплоты при давлении 1 бар.

Количество водяных паров в продуктах сгорания и возможная доля их конденсации является важным фактором в оценке эффективности конденсационного котла. Поэтому наиболее эффективными являются конденсационные генераторы на газообразном, жидком топливах и котлы, работающие на высоко-влажном твердом топливе (древесина, торф и др.).

В конденсационных котлах малой мощности в подавляющем большинстве случаев конденсат из продуктов сгорания играет роль промежуточного теплоносителя не имеющего

непосредственного контакта с теплоносителем систем отопления и ГВС, поэтому растворение в нем агрессивных и канцерогенных компонентов из продуктов сгорания (NOx, CO_x,бенз-а-пирен и др.) не влияет на санитарно-гигиенические характеристики работы систем отопления и ГВС. Вместе с тем конденсат, играющий роль промежуточного теплоносителя в конденсационном котле активно участвует в процессах теплопереноса не только при фазовом переходе водяных паров, но и при растворении активных газов из продуктов сгорания существенно изменяющих физико-химические свойства конденсата. Увеличивается его коррозионная активность при насыщении (из продуктов сгорания) - кислородом из избыточного воздуха в продуктах сгорания, CO_2 и NOx с образованием соответствующих кислот, снижая кислотный показатель конденсата до pH=3,5-4. Это обуславливает необходимость использования поверхностей нагрева котла из коррозионностойкой стали и нейтрализации конденсата перед его сливом.

Учитывая, что во всех конденсационных котлах малой мощности формирующаяся конденсационная пленка стекает по поверхности теплообменника под действием гравитационных сил режим течения конденсата определяют числом Рейнольдса $Re = \frac{w \times \delta_{пл}}{\nu'}$, где w- средняя скорость течения пленки в рассматриваемом сечении; $\delta_{пл}$- толщина пленки; ν' - кинематическая вязкость жидкости при параметрах насыщения.

В верхней части пленки будет наблюдаться ламинарное течение, в нижней части возможен турбулентный режим. Толщина пленки конденсата увеличивается в нижней части канала по мере ее движения по поверхности, т.е. $\delta_{пл} = f(y)$. Однако, в котлах малой мощности относительно «толстая» турбулизированная конденсатная пленка не образуется в силу геометрических факторов (малая длинна конденсационного канала).

Для условий конденсации «чистого» насыщенного пара толщину пленки конденсата $\delta_{пл}$ на расстоянии X от кромки поверхности можно определить по формуле [3]:

$$\delta_{пл} = \left[\frac{4\lambda' \mu' (t_{пл} - t_{ст}) y}{r \rho' g (\rho' - \rho'')}\right]^{0,25}$$

Где, λ' - теплопроводность воды в состоянии насыщения; μ' - динамическая вязкость воды в состоянии насыщения; $t_{пл}$- температура пленки конденсата; $t_{ст}$- температура на поверхности стенки; y- расстояние от кромки поверхности; r- скрытая теплота парообразования; ρ', ρ'' - плотность жидкости , пара соответственно.

Интенсификация теплообмена в конденсационных поверхностях обусловлена преимущественно наличием массообменных процессов на внешней поверхности пленки конденсата. На процесс теплопередачи, включающий теплоотдачу от паровой фазы к поверхности пленки конденсата от нее и к поверхности нагрева, от поверхности нагрева к теплоносителю и теплопроводность в пленке конденсата и металле стенки поверхности нагрева, наличие массообменных процессов не оказывает существенного влияния, и в зависимости от толщины пленки конденсата и режима тепломассообмена с дымовыми газами (конденсация или наоборот испарение воды с поверхности пленки конденсата при температуре мокрого термометра) может приводить как к росту коэффициента теплопередачи, так и к снижению его значения.

Допускаем, что примерно постоянными будут температура уходящих газов и влагосодержание. Для таких квазистационарных условий теплообмена будут также постоянными $\alpha_{вн}$, $\lambda_{ст}$ с учетом зарастания. Следовательно, условия теплообмена на поверхности пленки идентичны по всей рассматриваемой зоне. То есть $\alpha_{конд}$ будет величиной постоянной. При таких условиях переменной величиной является термическое сопротивление пленки конденсата. В сложившейся ситуации можно предположить, что в работе [3] формула (10.80а) не корректно определяется коэффициент теплоотдачи, а именно:

Коэффициент конвективной теплоотдачи в сечении x от вертикальной стенки к пленке находят из соотношения $\alpha_x = \frac{\lambda'}{\delta_{сл}}$, рассматривая пленку как плоскую стенку, $\alpha_x = \frac{\lambda'}{\delta_{сл}} = \left(\frac{(\lambda')^3 r\rho'(\rho'-\rho'')g}{4\mu'(t_{пл}-t_{ст})x}\right)^{0,25}$

Где λ'- теплопроводность воды в состоянии насыщения, $\delta_{пл}$- толщина пленки, r- скрытая теплота парообразования; ρ', ρ''- плотность жидкости, пара соответственно; g – ускорение свободного падения; μ'- динамическая вязкость воды в состоянии насыщения; x- сечение пленки.

В представленной формуле коэффициент теплоотдачи рассматривается как термическое сопротивление, что может быть сделано только в том случае если бы действительное термическое сопротивление теплоотдачи от насыщенного пара к поверхности пленки была бы величиной пренебрежительно малого порядка, т.е. при очень большом значении коэффициента теплоотдачи.

Такой подход представляется не корректным и не обоснованным, поэтому предлагаемая физическая модель учитывает теплоотдачу на поверхности пленки как постоянную величину, а термическое сопротивление слоя конденсационной пленки как величину переменную по мере стекания пленки. Поэтому целесообразно определять коэффициент теплопередачи как величину обратную коэффициенту конвективной теплоотдачи, а именно $k = \frac{1}{\alpha_y}$.

Таким образом используя материал и опытные данные можно получить обобщенные зависимости: $R_y = \frac{\delta_{сл}}{\lambda'} = \left(\frac{4\mu'(t_{пл-tст})y}{(\lambda')^3 r\rho'(\rho'-\rho'')g}\right)^{0,25}$

И как следствие среднее значение $\bar{R}$ на стенке высотой l , $\overline{R} = \frac{1}{l}\int_0^l R_y dy$;

$$\overline{R} = 1{,}06\left(\frac{\mu'(t_{пл-tст})l}{(\lambda')^3 r\rho'(\rho'-\rho'')g}\right)^{0,25}$$

Кроме этого температура на поверхности пленки не может быть равна температуре насыщения, что является само собой разумеющееся при больших коэффициентах теплоотдачи на поверхности при фазовых переходах.

Ввиду того,что на поверхности вертикальной стенки образуется ламинарное течение пленки конденсата, коэффициент теплопередачи оказывается наименьшим значением которое возможно при других допустимых процессах конденсации. Способы определения коэффициента теплоотдачи при ламинарном течении пленки разработаны еще Нуссельтом в 1916году [4,5].

Физическая модель теплообмена в конденсационных поверхностях нагрева конденсационных котлов, должна разрабатываться из условия наличия в продуктах сгорания не только водяных паров, но и не конденсирующихся газов (имеющих значительно более низкие температуры конденсации, чем в рассматриваемых процессах). На рисунке 2 представлены основные параметры и характеристики модели конденсации водяных паров.

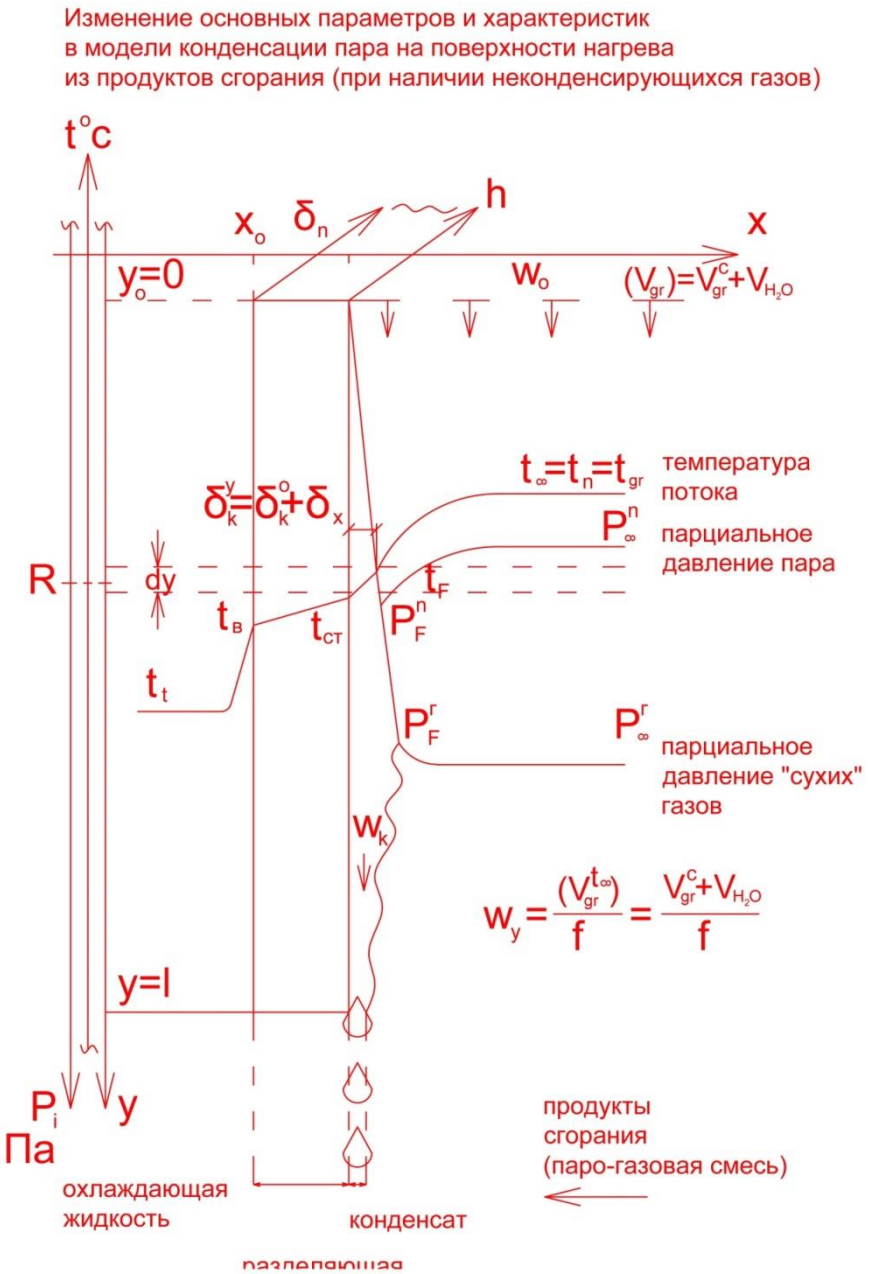


Рисунок 2 Изменение основных параметров и характеристик в модели конденсации пара (при наличии неконденсирующихся газов).

Список литературы

1. *Юдаев Б.Н.* Теплопередача: Учебник для вузов.- 2-е изд.,перераб. и доп.-М.:Высш. Школа, 1981.-319с., ил.
2. Теория тепломассообмена: Учебник для вузов/ С.И. Исаев, И.А. Кожинов, В.И. Кофанов и др.; под ред. А И. Леонтьева.- М.: Высшая школа 1979.- 495 с., ил.
3. Теплотехника: Учебник для вузов /В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; Под ред. В.Н. Луканина. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. Шк., 2006. – 671с.: ил.
4. *Егиазаров А.Г.* Общая теплотехника, теплоснабжение и вентиляция: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат , 1982.- 215с., ил.
5. *Мирам А.О., Павленко В.А.* Техническая термодинамика. Тепломассообмен: Учебное издание. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 352с.
6. *Болгарский А.В.* Термодинамика и теплопередача. Учебн. Для вузов. Изд. 2 –е, перераб. и доп., М.: «Высшая школа», 1975.
7. *Зингер Н.М.* Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. – 2-е изд. Перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 320с.: ил.
8. Комплексный анализ эффективности технических решений в энергетике/ Ю.Б. Гук, П.П. Долгов, В.Р. Окороков и др.; под ред. В.Р. Окорокова и Д.С. Щавелева. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1985. – 176с., ил.
9. Справочник по теплообменникам. Том 1. под ред. Б.С. Петухов, В.К. Шиков. – М.:Энергоатомиздат, 1987. С 560.
10. Промышленные тепломассобменные установки. Под ред. А.М. Бакластова. – М.: Энергоатомиздат. 1986., 328с.

05.16.00

[1]Р.Р. Хайруллин, [2]Н.Н. Сафронов

[1]Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, автомобильное отделение, кафедра материалов, технологий и качества, г. Набережные Челны, ramai2@mail.ru

[2]Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, отделение энергетики и информатизации, кафедра электроэнергетики и электротехники, г. Набережные Челны, safronov-45@mail.ru

СИНТЕЗИРОВАНИЕ СТАЛИ 38Х2МЮА ПРОЦЕССОМ СВС ИЗ ДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Жаропрочная сталь 38Х2МЮА широко используется в промышленности для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях повышенных температур (до 450 ^{0}С). Однако, традиционный технологический процесс её получения весьма проблематичен и затратен по причине использования качественных и достаточно дефицитных шихтовых материалов и организации плавильного процесса с осуществлением мероприятий по рафинированию жидкого металла. В работе предложен альтернативный вариант синтезирования стали 38Х2МЮА на основе процесса СВС из дисперсных отходов машиностроения. Результатом представленных исследований является получение в безотходном режиме качественных материалов: сталь 38Х2МЮА и высокоглиноземистый алюмосиликатный огнеупорный материал марки СМКБ-72.

Ключевые слова: *СВС, шихта, реактор, сплав, муллитокорунд, микроструктура.*

Введение

Процессы горения высокоэкзотермических смесей термитного типа в условиях воздействия газового давления или центробежной силы позволяют получать широкий спектр тугоплавких неорганических материалов, обладающих уникальными физическими, химическими и электротехническими свойствами [1]. Схема превращения исходной смеси в конечные продукты представляет собой комплекс процессов: химических, теплофизических, синтеза [2]. Данная схема известна под названием СВС-металлургия. Перспектива её развития достаточно широка: нанесение износостойких покрытий на деталях машин и механизмов, подвергающихся интенсивному износу; переработка промышленных отходов; проведение ремонтно-восстановительных работ в условиях открытого космоса; создание новых материалов и изделий, обладающих высокими значениями по показателям износостойкости, коррозионностойкости, жаростойкости. Отмеченное послужит мощным толчком в развитии таких отраслей промышленности, как металлургическая, химическая, горнодобывающая, газонефтедобывающая, машиностроительная.

Эксперимент и результаты

СВС-металлургия в отличие от других её разновидностей не требует дорогостоящего оборудования, в частности использование плавильных агрегатов, работающих с потреблением огромного количества различного вида энергий. Для осуществления металлургических процессов достаточно теплоты химической реакции, в результате которой формируется полезные в технологическом отношении металлическая и шлаковая фазы. Основные стадии технологического процесса проводимого СВС-синтеза: подготовка компонентов шихты, их дозирование, смешивание, засыпка в реактор, инициирование горения смеси, охлаждение реактора с продуктами синтеза, разборка реактора, отделение металлической и шлаковой фазы.

В настоящей работе представлены результаты по синтезу жаропрочной стали 38Х2МЮА методом СВС. В качестве шихтовых материалов использовались дисперсные отходы, образующиеся на заводах ОАО «КАМАЗ»: кузнечная окалина (FeO – 12,1 %; Fe_2O_3 – 87,1 %; MnO – 0,6 %; SiO_2 – 0,2 %); алюминиевая стружка (АК18); графитовая стружка; отходы хрома, образующиеся при очистке оснастки электролитического хромирования поршневых колец; молибденовые отходы, образующиеся при газотермическом напылении компрессионных поршневых колец; гранулированный алюминий марки АВ97 (ГОСТ 295-98); кварцевый песок. Кузнечная окалина в процессе синтезирования выполняла роль окислителя и поставщика основы металла – железа. Гранулированный алюминий и алюминий силуминовой стружки служил восстановителем. Кроме того, указанные материалы служили также источником алюминия и кремния, присутствие которых в синтезируемом металле регламентировано. Графитовая стружка являлась источником углерода в синтезируемой стали. Присутствие в шихте процесса СВС отходов хрома и молибденовых отходов обусловлено наличием в стали соответствующих элементов. Кварцевый песок в шихте процесса СВС участвует в формировании шлаковой фазы, состав которой соответствует мулитокорунду. После дополнительного измельчения порошки указанных отходов и материалов перемешивались в следующем соотношении друг с другом: кузнечная окалина: гранулированный алюминий: силуминовая стружка: графитовая стружка: отходы хрома: молибденовые отходы: кварцевый песок = 100:33:2:0,4:1,6:0,3:24.

Реактором для проведения процесса СВС служил графитовый цилиндрический стакан, вместимость которого составляла 750 гр. смеси. Графитовый стакан помещался вовнутрь металлического. Реакционная смесь, помещённая в реакторе, поджигалась с помощью раскалённой электрическим током нихромовой проволоки. Компоненты шихты в результате такого инициирования вступали во взаимодействие друг с другом. Длительность экзотермического процесса составляла 10-12 сек. Затем происходило остывание полученных продуктов плавки до комнатной температуры. Разборка реактора и разделение продуктов реакции показала следующие результаты. В реактор была помещена смесь реагентов в количестве 741 гр. Получили два продукта: металлическую фазу (347 гр.) и шлаковую (394 гр.) Анализ химического состава металлического слитка на основании семи проведенных СВС процессов, дал следующие результаты, % (массовая доля): C-0,36; Si-0,43; S-0,023; P-0,021; Al-1,02; Mn-0,5; Cu-0,2%, Cr-1,56; Ni – 0,2; Mo – 0,21. Твердость металла составляет 47 – 50 HRC. Проведенный анализ микроструктуры металла (рис. 1) свидетельствует о высокой скорости его охлаждения, следствием которого является наличие мартенсита и интерметаллидных включений. На это же указывают приведенные выше данные по твёрдости металла. Анализ исследованных параметров металлической фазы проведенного процесса СВС даёт основание утверждать, что получена конструкционная жаропрочная релаксационностойкая сталь марки 38Х2МЮА.

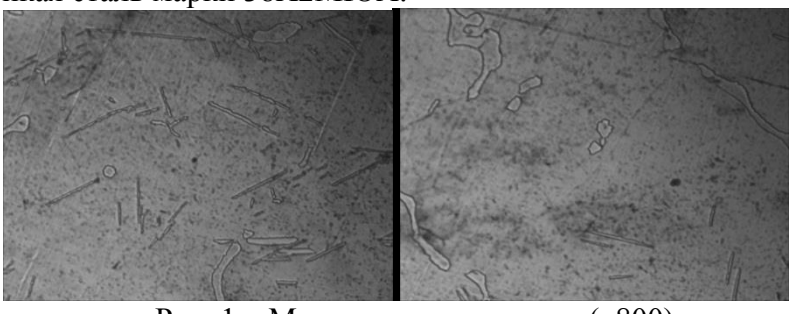


Рис. 1 – Микроструктура стали (х800)

Была проанализирована также шлаковая фаза продукта СВС. В ней определялось содержание оксидов алюминия и кремния. Были получены следующие данные, % (массовая доля): SiO_2 - 16,2; Al_2O_3 - 74,75%. Данный состав идентичен составу высокоглиноземистого алюмосиликатного огнеупорного материала СМКБ-72, который имеет широкое применение при выполнении футеровочных работ сталеразливочных ковшей, конвертеров,

нагревательных и обжиговых печей, индукционных печей, коксовых батарей, подин мартеновских печей, электродуговых печей и т. д.

Заключение

Процесс самораспространяющегося высокотемпературного синтеза позволяет изготавливать из дисперсных отходов машиностроения качественные металлические и неметаллические продукты с низкой себестоимостью, без использования внешних источников энергии и в безотходном режиме. В результате протекания процесса СВС в шихте, состоящей из кузнечной окалины, гранулированного алюминия, силуминовой стружки, графитовой стружки, отходов хрома, молибденовых отходов, кварцевого песка, были получены конструкционная жаропрочная релаксационностойкая сталь марки 38Х2МЮА и высокоглиноземистый алюмосиликатный огнеупорный материал марки СМКБ-72.

Список литературы

1. *Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г.* Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пособие. / Под научной редакцией В.Н. Анциферова. — М.: Машиностроение–1, 2007. 567 с.
2. *Мержанов И.П.* Самораспространяющийся высокотемпературный синтез // Физическая химия. Современные проблемы. М.: Химия, 1983. С. 6.

05.17.08

В.Н. Хмелёв д.т.н., А.В. Шалунов к.т.н., Р.Н. Голых, В.А Нестеров

Бийский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
кафедра Методов и средств измерений и автоматизации, Бийск, grn@bti.secna.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ АГРЕГАТОВ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ[1]

В статье представлены результаты исследований, позволивших выявить режимы ультразвукового воздействия, обеспечивающие наименьшее время сближения дисперсных частиц субмикронного размера и установить наиболее вероятную форму образующихся агрегатов.

Ключевые слова: *ультразвук, коагуляция, субмикронные частицы.*

Изучение механизма образования агрегатов субмикронных частиц в ультразвуковом (УЗ) поле необходимо для выявления режимов УЗ воздействия, обеспечивающих максимальную эффективность процесса коагуляции. Это позволит сформулировать технические требования к излучателям для газовых сред, разработать более совершенное газоочистное оборудование[1] и, в конечном счете, сделать существенный шаг в решении фундаментальной проблемы снижения промышленных выбросов и сохранения чистоты атмосферы.

Для исследования процесса предложена и разработана модель взаимодействия двух частиц, которая базируется на уравнениях динамики поступательного и вращательного движения, связывающих линейные и угловые ускорения частиц с силами, действующими на частицы и однозначно определяемыми возмущениями скорости и давления.

В рамках разработанной модели возмущения скорости **u** и давления **p** среды представляются в виде сумм составляющих 1-го и 2-го порядка малости (p_1, $\mathbf{u}_1$ и p_2, $\mathbf{u}_2$ соответственно):

$$p(\mathbf{r}) = p_1(\mathbf{r}) + p_2(\mathbf{r}); \qquad \mathbf{u}(\mathbf{r}) = \mathbf{u}_1(\mathbf{r}) + \mathbf{u}_2(\mathbf{r}),$$

где $\mathbf{r} = (x_1, x_2, x_3)$ – вектор координаты точки газовой среды.

Составляющие 1-го порядка возмущений определяются на основании анализа уравнений Навье-Стокса для вязкого режима обтекания, который справедлив при малых размерах частиц[2], и представимы в виде мультипольных разложений [3]:

$$p(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{3}\left[H_i^A \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{1}{X_A}\right) + H_i^B \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{1}{X_B}\right)\right] + \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\left[H_{ij}^A \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j}\left(\frac{1}{X_A}\right) + H_{ij}^B \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j}\left(\frac{1}{X_B}\right)\right] + \ldots$$

$$\eta u_i(\mathbf{r}) = -\frac{2}{3}\left(\frac{H_i^A}{X_A} + \frac{H_i^B}{X_B}\right) - \frac{3}{5}\sum_{j=1}^{3}\left[H_{ij}^A \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{1}{X_A}\right) + H_{ij}^B \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{1}{X_B}\right)\right] - \ldots - \frac{1}{6}\sum_{j=1}^{3}\left[H_j^A \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j}\left(\frac{1}{X_A}\right) X_A^{\,2} + H_j^B \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j}\left(\frac{1}{X_B}\right) X_B^{\,2}\right] - \frac{1}{10}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{3}\left[H_{jk}^A \frac{\partial^3}{\partial x_i \partial x_j \partial x_k}\left(\frac{1}{X_A}\right) X_A^{\,2} + H_{jk}^B \frac{\partial^3}{\partial x_i \partial x_j \partial x_k}\left(\frac{1}{X_B}\right) X_B^{\,2}\right] - \ldots$$

где $X_A = \sqrt{\sum_{i=1}^{3}(x_i - x_{Ai})^2}$, $X_B = \sqrt{\sum_{i=1}^{3}(x_i - x_{Bi})^2}$, x_{Ai} и x_{Bi} – i-ые координаты центров частиц A и B соответственно, H_i^A, H_{ij}^A, …, H_i^B, H_{ij}^B, … – постоянные величины, определяемые из

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №13-08-98092 р_сибирь_а

граничных условий прилипания [2].

Составляющие 2-го порядка возмущений скорости и давления u_2 и p_2 соответственно определяются на основании анализа уравнений Осеена, справедливых при малых числах Рейнольдса для субмикронных частиц:

$$div\ \mathbf{u}_2 = 0$$

$$\rho(\mathbf{u}, \nabla)\mathbf{u}_2 = -\nabla p_2 + \eta\Delta\mathbf{u}_2,$$

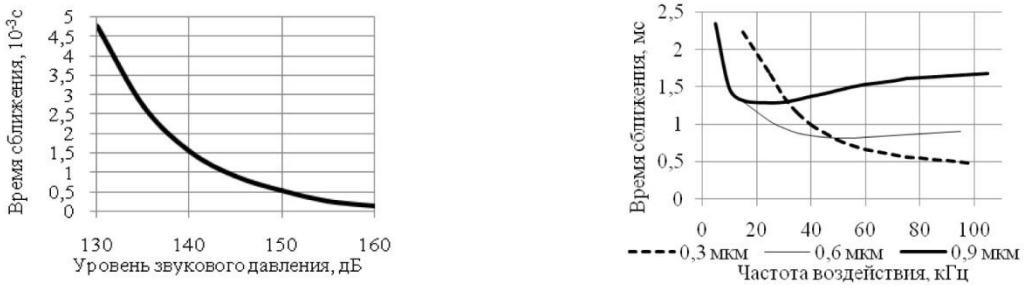
где **u** компонента скорости 1-го порядка малости, определённая на предыдущем этапе.

Предложенная модель взаимодействия двух частиц позволяет:

1) выявить оптимальные режимы УЗ поля в зависимости от размеров коагулируемых частиц;

2) установить основные закономерности образования агрегатов и характеристики их формы.

В результате анализа разработанной модели были получены зависимости времени сближения частиц (рис. 1) от режимов УЗ воздействия (уровень звукового давления и частота). Модельный диаметр частиц – 0,6 мкм, плотность вещества частиц – 2200 кг/м^3 (SiO_2), начальное расстояние между частицами – 10,75 мкм.



а) от уровня звукового давления б) от частоты

Рис. 1 – Зависимости времени сближения частиц от режимов УЗ воздействия

Представленные зависимости позволяют сделать вывод о необходимости использования уровней звукового давления от 150 дБ и более (рис. 1а). Оптимальная частота коагуляции для частиц размером 0,9 мкм составляет 20 кГц (рис. 1б). Для меньших размеров частиц требуется повышение оптимальной частоты воздействия до 100 кГц и более. Однако, поскольку ультразвуковые колебания в воздушной среде на частотах более 100 кГц затухают достаточно быстро, оптимальным следует считать диапазон частот 20–50 кГц и уровень звукового давления – не менее 150 дБ.

Для определения формы образующихся агрегатов дисперсных субмикронных частиц были установлены зависимости скорости сближения первичных частиц от ориентации линии их центров к направлению распространения акустической волны (рис. 2).

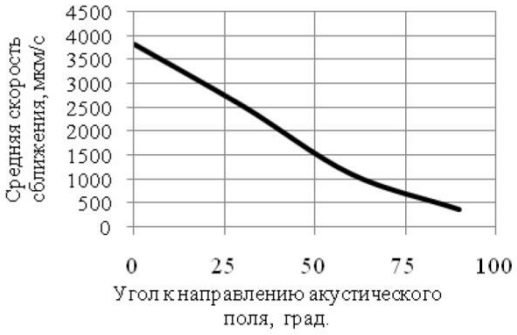
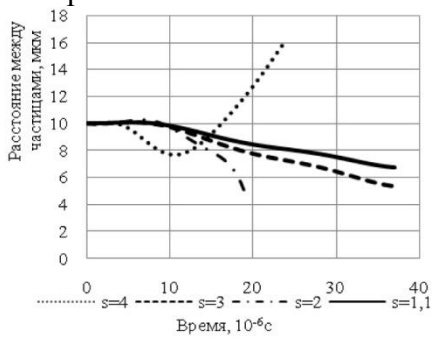


Рис. 2 – Зависимость средней скорости сближения частиц от угла между линией центров частиц и волновым вектором акустического поля.

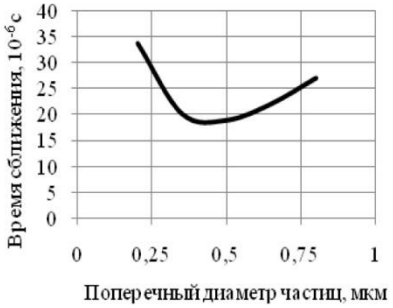
Полученная зависимость (рис. 2) позволяет сделать вывод, что наибольшая скорость сближения частиц достигается при угле, равном 0° и, следовательно, на начальной стадии

коагуляции образуемый агрегат по форме будет близок к эллипсоиду вращения, большая полуось которого ориентирована вдоль поля. На основании полученной зависимости (рис. 2) проведена оценка наиболее вероятного отношения продольных и поперечных размеров агрегата и установлено, что оно равно 2,8. Таким образом, образовавшиеся агрегаты эллиптической формы под действием УЗ поля приводятся во вращательное движение за счёт разности давлений относительно центра и возникающих акустических течений.

Этот эффект способствует дальнейшему ускорению процесса коагуляции. На рис. 3а представлены зависимости расстояния между образовавшимися агрегатами от времени при различных соотношениях длин полуосей s (поперечный размер равен 0,5 мкм), а на рис. 3б – зависимости времени сближения от их поперечного диаметра (соотношение полуосей s=2):



а)



б)

Рис. 3 – Зависимости расстояния между центрами агрегатов от времени (а) и времени сближения от поперечного диаметра агрегатов (б)

Как следует из представленных зависимостей (рис. 3а), минимальное время сближения агрегатов достигается при s=2. Это позволяет сделать вывод о том, что отношение продольного размера агломератов, образующихся на заключительной стадии коагуляции, к поперечному ограничено. Кроме того, было установлено, что при постоянном расстоянии между агрегатами и поперечном размере, равном 0,4 мкм (рис. 3б) коагуляция происходит наиболее эффективно.

Таким образом, проведённый анализ процесса формирования образующихся при УЗ воздействии агрегатов позволил установить следующее:

1) наиболее эффективно процесс коагуляции субмикронных частиц происходит в диапазоне частот УЗ воздействия 20…50 кГц при уровне звукового давления не менее 150 дБ;

2) на начальных стадиях коагуляции образуемые агрегаты имеют форму, близкую к эллипсоиду вращения, ориентированы вдоль поля и имеют наиболее вероятное соотношение осей, равное 2,8;

3) эллипсоидальные агрегаты под действием УЗ поля приводятся во вращательное движение, которое определяет основной механизм коагуляции частиц с формой, отличной от сферической.

Список литературы

1. *Хмелев, В.Н.* Комплексное исследование акустической коагуляции мелкодисперсного аэрозоля [Текст] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых, К.В. Шалунова // Ползуновский вестник.– 2010.– № 3. – С. 303-309.

2. *Ландау, Л.Д.* Теоретическая физика [Текст]. В X т. Т. VI. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. – 736 с.

3. *Хмелев, В.Н.* Моделирование процессов коагуляции газодисперсных систем для определения оптимальных режимов акустического воздействия [Текст] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых, К.В. Шалунова // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2010. – № 2 (20). – С. 48–52.

05.13.18

А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова

Сибирский государственный индустриальный университет,
институт информационных технологий и автоматизированных систем, к
афедра прикладной информатики,
Новокузнецк, atsvet@mail.ru, lara@rdtc.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА В УСЛОВИЯХ ИНТЕГРАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ И ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ СИЛ

В работе представлена математическая модель комплексного воздействия гравитационных и тектонических сил на геомеханическое состояние массива.

Ключевые слова: *Математическая модель, геотектоника, гравитация.*

В реальном геомассиве взаимодействующие силы различной физической природы формируют его природное напряженно-деформированное состояние. Среди них определяющий вклад вносят гравитационные и тектонические силы, что подтверждено тем, что на ряде угольных месторождений Кузбасса [4].

Вопросами математического моделирования напряженного состояния геомассивов посвящены работы таких видных ученых, как М.В. Курленя, В.Е. Миренков, Т.И. Лазаревич, П.В. Егоров, В.М. Серяков, А.А. Еременко, В.Н. Опарин, С.В. Кузнецов и др. [1,2,4]. С целью моделирования распределения напряжений в горном массиве необходимо с помощью предусмотренных в модели параметров задать начальные условия, идентичные реальным, при которых могут преобладать как вертикальные, так и горизонтальные компоненты тензора напряжений.

В данной работе предложена математическая модель, отличающаяся от известных тем, что настраивается с помощью граничных условий, вид которых установлен на основе проведенных аналитических исследований, что обеспечило интеграцию взаимодействия тектонических и гравитационных сил.

Соотношения теории упругости для нормальных напряжений имеют вид [3]:

$$\sigma_x = \lambda(u'_x + v'_y) + 2\mu u'_x,\ \sigma_y = \lambda(u'_x + v'_y) + 2\mu v'_y, \qquad (1)$$

где u(x,y), v(x,y) - горизонтальные, вертикальные перемещения соответственно, σ_x, σ_y - горизонтальные, вертикальные напряжения соответственно, $\lambda = \upsilon E/((1+\upsilon)(1-2\upsilon))$, $\mu = E/(2(1+\upsilon))$ – параметры Ламе, E – модуль упругости, υ - коэффициент Пуассона.

Поскольку в гравитационной модели относительная деформация в горизонтальном направлении принимается равной нулю ($u'_x = 0$) [1], то соотношения (1) примут вид:

$$\sigma_x = \lambda v'_y,\ \sigma_y = (\lambda + 2\mu)v'_y. \qquad (2)$$

Отношение напряжений численно равно боковому распору:

$$\sigma_x/\sigma_y = \lambda/(\lambda + 2\mu) < 1,\ \sigma_x/\sigma_y < 1. \qquad (3)$$

После подстановки параметров Ламе в (3) зависимость примет стандартный вид:

$$\sigma_x/\sigma_y = \upsilon/(1-\upsilon). \qquad (4)$$

В условиях преобладающего воздействия геотектонических сил ($u'_x >> u'_y$) гравитационной составляющей деформаций можно пренебречь. Исходя из анализа отношения нормальных напряжений (1):

$$\sigma_x / \sigma_y = (\lambda(u'_x + v'_y) + 2\mu u'_x)/(\lambda(u'_x + v'_y) + 2\mu v'_y), \quad (5)$$

при $u'_y = 0$, следует, что боковой распор в условиях воздействия геотектонического поля напряжений определяется соотношением:

$$\sigma_x / \sigma_y = (\lambda + 2\mu)/\lambda > 1,\ \sigma_x / \sigma_y > 1. \quad (6)$$

Отношение напряжений (6) при действии тектонических сил больше единицы, что согласуется с известными представлениями, полученными на практике.

В соответствии с проведенным анализом можно сделать вывод, что расчетная схема напряженно-деформированного состояния геомассива должна включать возможность задания величин горизонтальных деформаций на боковой границе изучаемой области. Это позволит обеспечить взаимодействие гравитационного и геотектонического полей напряжений.

В расчетной схеме, приведенной на рисунке 1, исследуемый участок представлен областью Ω. Гравитационное воздействие на массив задано с помощью массовых сил Fg, отражающих вес слагающих пород. Проявления геотектонических сил формируется за счет условий на боковых границах, обусловленных горизонтальными деформациями ε_x.

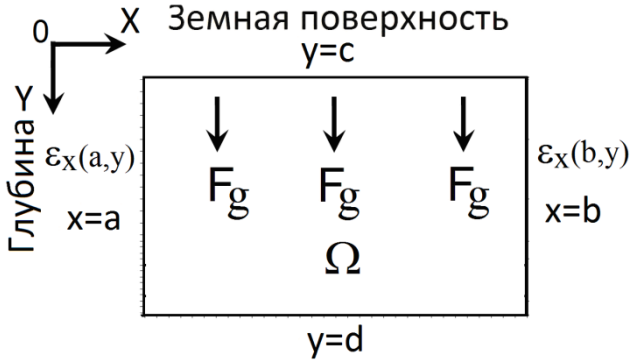


Рис. 1 – Расчетная схема для математической модели геомассива, включающая взаимодействие гравитационных и геотектонических сил

Исходя из расчетной схемы, разработана математическая модель на основе определяющих соотношений теории упругости в следующей постановке: найти вектор перемещений U=(u,v), u=u(x,y), v=v(x,y), удовлетворяющий внутри Ω системе дифференциальных уравнений [3]:

$$\begin{cases} \mu\left(u''_{xx} + u''_{yy}\right) + (\lambda + \mu)\left(u''_{xx} + v''_{xy}\right) = 0; \\ \mu\left(v''_{xx} + v''_{yy}\right) + (\lambda + \mu)\left(u''_{xy} + v''_{yy}\right) + \rho g = 0, \end{cases} \quad (7)$$

и граничным условиям: $\varepsilon_x(a, y) = \varepsilon_t$, $\varepsilon_x(b, y) = \varepsilon_t$, $v(x, d) = 0$, $\sigma_y(x, c) = 0$, где ρ – плотность пород, g – гравитационная постоянная, Fg = ρg - массовые силы, определяющие воздействие гравитационных сил.

Воздействие проявлений геотектонических сил в модели задано с помощью условий на боковых границах расчетной $\varepsilon_x(a, y) = \varepsilon_t$, $\varepsilon_x(b, y) = \varepsilon_t$, которые позволяют воссоздать на основе разработанной модели природное состояние геомассива. Если $\varepsilon_t = 0$, то напряженно-деформированное состояние изучаемого массива определяется гравитационными силами Fg и отношение напряжений соответствует (3) и (4). В условиях, когда $\varepsilon_t \neq 0$ в геомассиве совместно действуют как гравитационные, так и тектонические силы.

В качестве примера применения разработанной математической модели была исследована чувствительность интегрального поля напряжений к вариации величин горизонтальных деформаций на боковой границе расчетной области. При проведении вычислительного эксперимента выбраны следующие параметры моделей: a=0 м, b=400 м, c=0 м, d=600 м,

ρ_1=2600 кг/м^3, E_1=5,2·10^{4}МПа, ν_1=0,17. Горизонтальные деформации на боковой границе модели были определены интервалом $\varepsilon_t = [-0{,}002; 0]$

Для редуцирования математической модели к системе линейных алгебраических уравнений выбран метод конечных элементов. Вычислительный эксперимент проводился при 10000 четырехугольных конечных элементов

На первом этапе моделирования были получены величины горизонтальных и вертикальных напряжений при действии только сил гравитации. В условиях гравитационного поля массив Ω представлял собой область сжатия. Величины горизонтальных напряжений отличались от вертикальных на коэффициент бокового распора (3).

На следующих моделях, посредством вариации горизонтальных деформаций на границе расчетной области от -0.002 до 0 было исследовано воздействие геотектонических сил на исследуемый участок. Результаты моделирования представлены на рисунке 2. Знак минус соответствует сжимающим напряжениям.

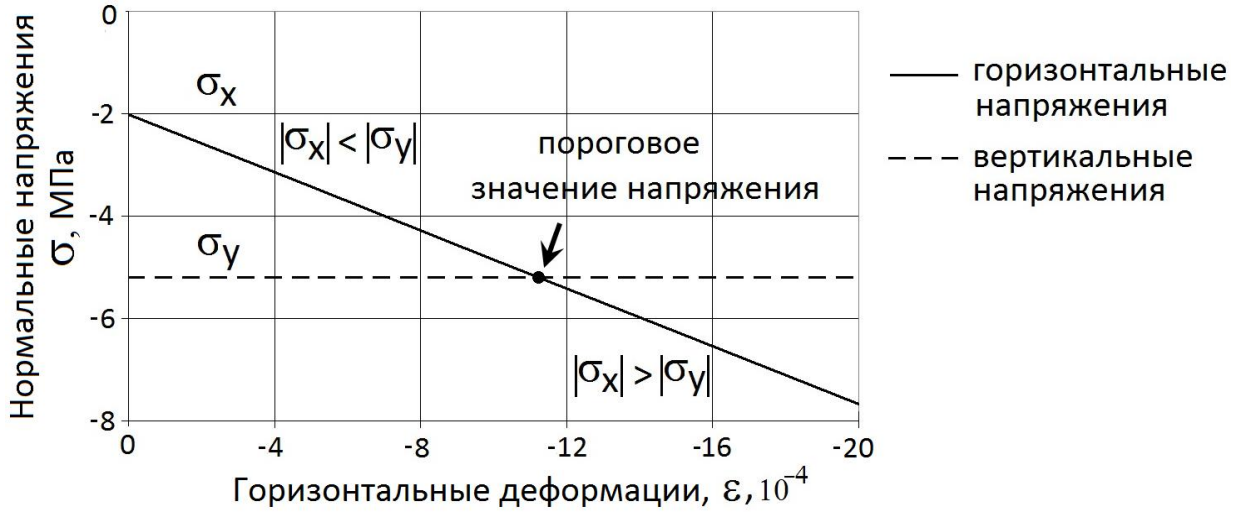


Рис. 2 – Графики зависимости нормальных напряжений от горизонтальных деформаций на боковой границе расчетной области

Из рисунка 2 следует, что величины горизонтальных напряжений равномерно возрастают с увеличением горизонтальных деформаций. Вертикальная компонента тензора напряжений с учетом бокового сжатия отличаются менее 1% от результатов, полученных при действии только собственного веса пород.

Из анализа полученных результатов следует, что наличие тектонического воздействия на геомассив приводит к изменению соотношения между горизонтальными и вертикальными напряжениями и, по достижении пороговых значений 5.5 МПа, горизонтальная компонента тензора напряжений по модулю превышает вертикальную.

Разработанная расчетная схема для изучения напряженно-деформированного состояния массива позволяет процесс моделирования в условиях взаимодействия гравитационных и геотектонических сил проводить в два этапа. На первом этапе определиться с гравитационными напряжениями, а тонкую настройку интегрального воздействия гравитационных и тектонических сил проводить на втором за счет выбора условий на границе.

Практическое значение комплекса проблемно-ориентированных программ состоит в возможности прогноза размера зон опасных по горным ударам, внезапным выбросам угля и газа в горные выработки.

Выводы

1. В данной работе на основе аналитического исследования установлена зависимость между геотектоническими напряжениями и горизонтальными деформациями.

2. Разработана математическая модель, в которой посредством граничных условий

обеспечивается взаимодействие гравитационных и геотектонических полей напряжений.

3. Установлено наличие пороговых величин напряжений перехода от гравитационного распределения напряжений к геотектоническому.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки по контракту №5.3832.2011.

Список литературы

1. *Борисов А.А.* Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. С. 65-66.
2. *Динник А.Н.* Статьи по горному делу. М.: Углетехиздат, 1957. 193с.
3. *Ершов Л.В. Максимов В.А.* Математические основы физики горных пород. М.: МГИ, 1968. С. 39-65.
4. *Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А.* Техногенные геомеханические поля напряжений. Новосибирск: Наука, 2005. С. 64.

05.23.04

К.И. Чижик, А.В. Бабин

Московский государственный строительный университет,
институт инженерно-экологического строительства и механизации,
кафедра водоотведения и водной экологии,
Москва, babinartem2007@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ВЛАГИ ВОЗДУХА

В работе представлен анализ современных устройств извлечения воды из влаги воздуха и их значимость в ликвидации мирового водного кризиса, приведены недостатки устройств и пути их устранения.

Ключевые слова: *устройства извлечения влаги воздуха, конденсация, сорбция, вихревые технологии.*

Воздух тропосферы играет роль основного посредника во взаимодействии суши и Мирового океана и содержит в своем объеме по разным источникам от 12 до 15 тысяч м³ воды. Влага воздуха распределена в объеме атмосферы крайне неравномерно, на нижние слои атмосферы, толщиной 1,5 км приходится свыше 99% водяного пара. Средняя абсолютная влажность, вблизи земной поверхности составляет 11 г/ м³, а в тропических районах эта величина доходит до 25 г/ м³ и выше [3].

Большое количество стран, расположенных в аридных зонах, страдают от отсутствия пресной воды, хотя её содержание в атмосферном воздухе весьма значительно. Так, например в Джибути Северо-Восточной Африки в течении всего года практически не бывает дождей, но абсолютная влажность составляет 18-24 г/м3. Количество воды, проносящейся над каждым квадратом в 10 км^2 Аравийской пустыни или Сахары, равно по объему озеру площадью 1 км^2 и глубиной 50 м. Более того, в 1 км^3 приземного слоя атмосферы в жарких, засушливых и пустынных областях Земли содержится до 20000 тонн водяных паров. Эффективная и недорогая технология получения воды из влаги воздуха может решить проблемы водоснабжения для 17% населения Земли, населяющих засушливые регионы.

В данный момент используются и внедряются несколько типов устройств для получения воды из воздуха атмосферы, пригодных только для засушливых регионов с тропическим климатом. Основная масса из них требует больших энергетических затрат на дополнительное охлаждение, другие работают только при близкой к 100% относительной влажности воздуха. Все известные установки чрезвычайно громоздки, не отличаются широкими функциональными свойствами, требуют больших площадей и вредны для окружающей среды и человека, используя разрушающие озон газы и генерируя вредный для здоровья ультразвук. Недостатки современных устройств требуют качественных научных исследований в данной области, новых инженерных решений и творчества изобретателей.

Большинство современных устройств были разработаны в 1990-х годах и имеют тот же принцип работы, что используется для осушения воздуха в холодильных установках и кондиционерах. Они состоят из компрессора, конденсатора, испарителя, трубопроводов с хладагентом, образующих поверхность с низкой температурой, вентилятора, обеспечивающего воздухообмен, блока теплообменников для рекуперации воздуха и емкости для образующегося конденсата. Все части установки собраны в одном блоке и комплектуются устройствами для очистки осушаемого воздуха и конденсируемой воды. Основными энергопотребителями являются холодильный аппарат и вентилятор.

В настоящее время рядом стран налажено ограниченное производство установок получения воды из воздуха (далее УПВВ), производительностью до 700 литров воды в сутки,

на Российском рынке представлены в основном бытовые установки, производительностью 30-40 л/сутки, стоимость одной установки варьируется в пределах 70-100 тыс. рублей.

Бытовые УПВВ могут устанавливаться на автотранспорте, ими могут пользоваться геологические и другие экспедиции. Транспортабельностью обладают даже стационарные мощные установки благодаря своему модульному исполнению.

Преимущества установок УПВВ:

- высокое показатели качество воды по сравнению с водой из поверхностных источников;
- простота эксплуатации;
- автономизация, независимость от системы глобального водопровода;
- мобильность и долговечность;
- модульное исполнение;
- высокая надежность и ремонтопригодность.

Недостатки:

- при водоподготовке дополнительно требуется минерализация и фторирование;
- стоимость воды сравнима с бутилированной;
- у некоторых моделей превышение показателей по шумности;
- низкий % извлечения влаги;
- зависимость от климатических показателей.

Одним из перспективных устройств, которые могут использоваться в качестве охладителей в конденсационных устройствах являются вихревые трубы (ВТ) (рис. 1), которые используют в своей работе вихревой эффект (эффект Ранка-Хилша).

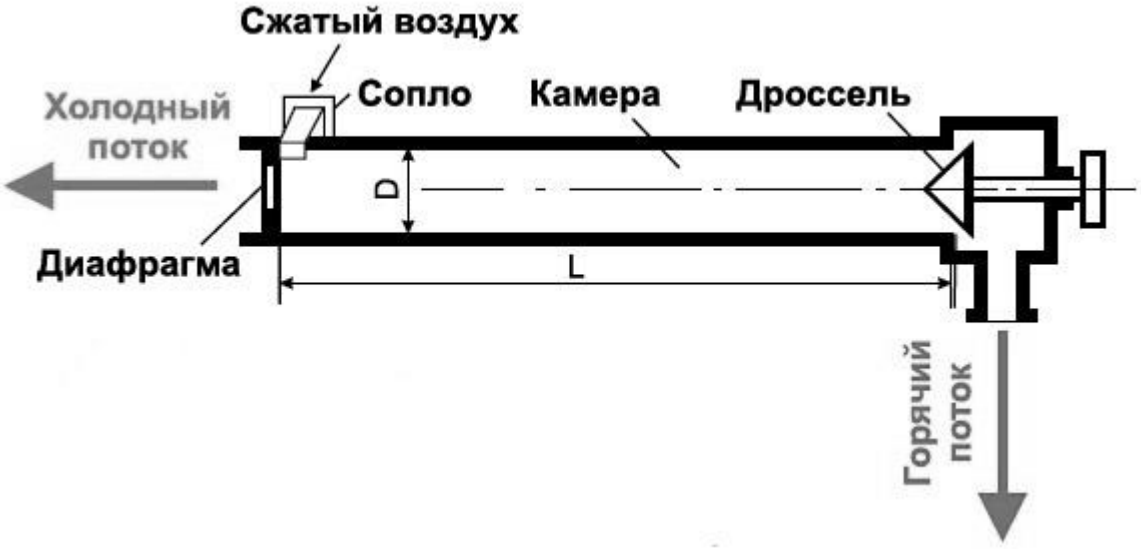


Рис. 1. Адиабатная вихревая труба

Высокоскоростной турбулентный поток воздуха (газа) разделяется при вращении на охлажденное ядро и горячие периферийные слои. Для формирования вихря в простейшей «статической» холодильной машине – вихревой трубе используют сжатый воздух из заводской или бортовой пневмосети, либо от переносного безмасляного компрессора. Температурное разделение смерча – «вихревой эффект» - самое «дешевое» открытие XX века, не потребовавшее тысячных коллективов и миллиардных вложений. Дешевое и многообразное в конструктивных «воплощениях». [2] Вихревая труба – первое из воплощений – холодильная машина без подвижных, изнашиваемых частей, если не учитывать устройство, производящее сжатый воздух. На данный момент в мировом фонде сотни изобретений, относящихся к ВТ, причем больше половины сделаны в СССР, России, большинство трудами ученого, заслуженного изобретателя, Азарова Анатолия Ивановича, который познакомил меня с этой технологией и помогает в исследованиях. Больше половины изобретений и проектов использующих вихревой эффект относятся к многоцелевой вихревой холодильной технике: это простые в производстве, безынерционные и безотказные в работе, необслуживаемые в эксплуатации ВТ - «точечные»

воздухоохладители для всех отраслей машиностроения, пищевой промышленности и сельского хозяйства, транспорта и испытательной техники. Эти устройства до сих пор не использовались в конденсационных установках, и привлекают внимание своей новизной, низкой стоимостью изготовления, простотой и безотказной работой. В разработке технологии получения воды из влаги воздуха с помощью температурной конденсации важное место занимает выбор холодильной машины. Вследствие простоты конструкции конкурентоспособность ВТ как средства энергосбережения напрямую зависит от её энергетических характеристик и практически не зависит от затрат на её изготовление.

В данный момент в нашем Университете собрана экспериментальная конденсационная установка, впервые использующая вихревые трубы в устройствах получения влаги воздуха, также, новшеством является использование высокопористой ячеистой керамики (далее ВПЯМ) в качестве конденсационной поверхности. Разнообразные области применения ВПЯМ определяет сочетание в материале таких свойств как развитая удельная поверхность, конструктивная прочность, низкое гидравлическое сопротивление, высокая проницаемость. ВПЯМ успешно применяются в металлургической, химической, медицинской промышленности, а так же в других областях народного хозяйства.

Высокопористые проницаемые ячеистые материалы (ВПЯМ) внедряются в очистке промышленных газов от примесей, разделении парогазовых сред, газораспределении и выравнивании газовых потоков, смешивании, электрохимии, экологии, охране окружающей среды, теплообмене, связанном с передачей тепла между средами, создании композиционных материалов. ВПЯМ применяются в энергетике в качестве носителя катализатора, а так же непосредственно в качестве катализатора.

Исследования нацелены на разработку новых методов интенсификации процесса осушки воздуха и получения воды из влаги воздуха, а также оптимальных конструктивных решений для их реализации на практике.

Список литературы

1. *Абдыгалиев Ш.И.* Наш ответ Феодосии// Аргументы и Факты Казахстан- 2006.-№ 2-С.14-15.

2. *Азаров А.И.* Вихревые труб в промышленности. Изобретатель – машиностроению. Энергосбережение и вихревой эффект: исследование и освоение инновационных проектов. – СПБ.: Издательство ЛЕМА. 2010. – 170с.: Илл. 131 (187); таблиц 11; литерат.91; приложений 4.

3. *Максаковский В.П.* Географическая картина мира Книга. I: Общая характеристика мира. Глобальные проблемы человечества. - Издательство: Дрофа. 2008.

4. *Бродов Ю.М., Савельев Р.З.* Конденсационные установки паровых турбин: Учебн. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1994.- 288 с., ил.

5. *Мазин И.П.. Шметер С.М.* Облака. Строение и физика образования. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983.

6. *Фотин Б.С., Пирумов И.Б., Прилуцкий И.К., Пластинин П.И.* Поршневые компрессоры; Под общ. ред. Б.С. Фотина — Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1987. — 872 с., ил.

7. *Цимерман А.Б., И.А. Яковенко.* Метод испарительного охлаждения воздуха: технология, преимущества, перспективы. Отопление водоснабжение вентиляция. №1 2004г. Издатель ООО «ИД БАУбизнес».

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

Б.Н. Иванов, В.С. Минкин, М.И. Билалов, Р.Н. Костромин
СТРУКТУРА ИННОВАЦИОННОГО НЕФТЯНОГО КЛАСТЕРА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН (Состояние и перспективы). ЧАСТЬ 2.
Ключевые слова: инновационный нефтяной кластер, ассоциативность нефтесодержащих систем, волновые воздействия.

Нефтяной кластер представляет собой ассоциацию нефтяной инфраструктуры, приемов управления, кадров и применяемых технологий.

B.N. Ivanov, V.S. Minkin, M.I. Bilalov, R.N. Kostromin
STRUCTURE OF THE INNOVATIVE OIL CLUSTER OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN (Condition and prospects) PART II.
Keywords: innovation oil cluster, oily associative systems, wave exposure.

Oil cluster is an association of the oil infrastructure, management practices, training and applied technologies.

В.К. Половняк, Ш.В. Садетдинов, С.В. Житарь
РАСТВОРИМОСТЬ И ФИЗИКО – ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ СИСТЕМ $MeBO_2$ – $MeNO_2$ – (Me-Li, Na, K) – H_2O ПРИ 25°С

V.K. Polovnyak, Sh.V. Sadetdinov, S.V. Zhitar
SOLUBILITY AND PHYSICAL - CHEMICAL PROPERTIES OF SOLUTIONS SYSTEMS $MeBO_2$ - $MeNO_2$ - (Me-Li, Na, K) - H_2O AT 25°C

В.Л. Кашинцева, М.И. Панфилова
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ АМОРФНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК
Ключевые слова: магнитная пленка, аморфные пленки, коэрцитивная сила, анизотропия, магнитооптический сигнал, константа анизотропии.

В данной работе рассматриваются способы получения аморфных пленок. Интерес к таким объектам связан с возможностью изучения фундаментальных проблем физики магнитных явлений. Исследовались свойства анизотропии. Определены значения угловой дисперсии анизотропии в аморфных пленках.

V.L. Kashintseva, M.I. Panfilova
SOME OF THE ISSUES OF MANUFACTURING AND RESEARCH AMORPHOUS THIN FILMS
Keywords: magnetic tape, amorphous film, coercive force, anisotropy, magneto-optical signal, the anisotropy constant.

In this paper we consider methods of obtaining amorphous films. Interest to such objects connected with the possibility of the study of fundamental problems of physics of magnetic phenomena.

А.А. Корниенко, А.А. Мусеев, А.Н. Токарев, А.А. Лежнева
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ВСТАВОК»
Ключевые слова: диагностика, «интеллектуальная вставка», катушка измерительная, эксперимент, напряженно-деформированное состояние.

В статье описана конструкция измерительного элемента «интеллектуальной вставки». Приведен один из экспериментов по тарировке катушки измерительной, проанализированы результаты. Обозначена проблемная область и перспектива дальнейших исследований.

A.A. Kornienko, A.A. Museev, A.N. Tokarev, A.A. Lezhneva
THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF "INTELLECTUAL MEASURING INSERT"
Keywords: diagnostics, "intellectual measuring insert", measuring insert element, experiment, strain-stress state.

In this article the construction design of measuring element of "intellectual measuring insert" is described. One of experiments on measuring insert element calibrating is given and results are analyzed. The problem area and prospect of further researches is shown.

Г.Э. Лазаренко, В.Р. Агафонов, С.М. Тулин, В.А. Ружников, Д.Г. Лазаренко
ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КОЛЛЕКТОРА ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
Ключевые слова: термоэмиссия, композит, наноструктурирование, коллектор.

Представлены результаты экспериментального исследования наноструктурированных углеродных материалов в качестве коллектора

G.E. Lazarenko, V.R. Agafonov, S.M. Thulin, V.A. Ruzhnikov, D.G. Lazarenko
EXPERIMENTAL STUDY OF THE NANOSTRUCTURED CARBON MATERIALS AS A COLLECTOR OF THE THERMIONIC CONVERTER
Key words: thermal emission, composite, nanostructured materials, collector

The results of the experimental study of the nanostructured carbon materials as a collector of the thermionic converter are presented. The estimated object

термоэмиссионного преобразователя. Объект исследования - композит из нанокристаллитов меди, покрытых молекулами фуллерена C_{60}. Исследования проводились на лабораторном стенде термоэмиссионных испытаний с плоскими коллекторами диаметром 14 мм. Исследуемый материал обладает низкой работой выхода электронов и, следовательно, является перспективным для повышения КПД низкотемпературных термоэмиссионных преобразователей.

for research is a composite of the copper nanocrystallites covered with C60 molecules. Researches are performed at the laboratory device for thermionic tests with flat collectors with a diameter of 14 mm. The studied material possesses low work of electrons emission, therefore, is perspective for increase the efficiency of low-temperature thermoionic converters.

О.Ю. Сметанников, И.В. Самусев, Е.В. Субботин
МОДЕЛЬ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ФОТОПОЛИМЕРА

Ключевые слова: термомеханика, определяющие соотношения, эксперимент, стеклование, вязкоупругость.

Получены определяющие соотношения для фотополимерного композита Envisiontec SI 500, применяемого для изготовления литьевых выплавляемых прототипов по технологии послойного синтеза. Приведена методика экспериментальной идентификации материальных констант физических уравнений и проверка их адекватности в независимом эксперименте.

O.Yu. Smetannikov, I.V. Samusev, E.V. Subbotin
MODEL OF PHOTOPOLYMER THERMOMECHANICAL BEHAVIOR

Keywords: thermomechanics, constitutive equations, experiment, glass transition, viscoelasticity.

Constitutive equations of photopolymer composite Envisiontec SI 500, used in rapid prototyping systems for manufacturing of cast molding technology prototypes are developed. The technique of experimental identification of the physics model material constants and check their adequacy in an independent experiment is described.

С.А. Соловьева
К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТРЕТЬЕГО РОДА МЕТОДОМ КОЛЛОКАЦИИ

Ключевые слова: интегральные уравнения третьего рода, пространство обобщенных функций, приближенное решение, метод коллокации, теоретическое обоснование.

В работе предложен и обоснован специальный вариант метода коллокации, приспособленный к приближенному решению интегральных уравнений третьего рода в пространстве обобщенных функций.

S.A. Solov’eva
ON THE QUESTION OF SOLUTION OF INTEGRAL EQUATIONS OF THE THIRD KIND BY COLLOCATION METHOD

Keywords: third-kind integral equation, space of distributions, approximate solution, collocation method, theoretical substantiation.

In this paper we propose and justify special variant method of the collocation for the approximate solution of integral equations of the third kind in the space of distributions.

Д.В. Фирстов, Д.В. Бережной, Е.В. Биряльцев
ОДИН ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ГРАНИЧНОЙ СРЕДЫ ДЕМПФИРОВАНИЯ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

Ключевые слова: граничная среда демпфирования, метод конечных элементов, вязкоупругое тело с затуханием.

В работе представлен результат изучения построения «граничной среды демпфирования» на основе модели вязкоупругого тела с затуханием, позволяющий в задачах динамики механики сплошной среды, при моделировании конечного участка бесконечного пространства пропускать упругие волны за границы расчетной области без ложных отражений. Сформулирован принцип и условия для эффективного применения «граничной среды демпфирования» на основе вязкоупругого тела с затуханием, для различных конфигураций исследуемых сред.

D.V. Firstov, D.V. Berezhnoi, E.V. Biryaltsev
ONE APPROACH TO THE REALIZATION OF BOUNDARY ENVIRONMENT DAMPING IN THE NUMERICAL SOLUTION OF DYNAMIC PROBLEMS OF CONTINUUM MECHANICS

Keywords: boundary damping medium, finite element method, the viscoelastic body with damping.

The results of the study of building a "boundary damping medium" on the basis of the viscoelastic body with damping, allowing in the dynamics of continuum mechanics, the simulation of the final portion of the infinite space of elastic waves pass beyond the computational domain without spurious reflections. Defined principles and conditions for the effective application of the "boundary damping medium" on the basis of the viscoelastic body with damping for different configurations of the media.

Д.В. Фирстов, Д.В. Бережной, А.А. Саченков, Л.Р. Секаева

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 2D И 3D СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ключевые слова: метод конечных элементов, вязкоупругое тело с затуханием, 2D и 3D сейсмогеологические модели.

В работе представлена оценка адекватности 2D и 3D сейсмогеологических моделей. Проведено изучение их особенностей, а так же численное моделирование для получения спектров модельных сигналов при различном расположении точек записи, с целью их сравнительного анализа.

D.V. Firstov, D.V. Berezhnoi, A.A. Sachenkov, L.R. Sekaeva

NUMERICAL SIMULATION OF 2D AND 3D SEISMIC MECHANICAL MODELS

Keywords: finite element method, a viscoelastic body with fading, 2D and 3D models of seismic.

This paper presents an assessment of the adequacy of 2D and 3D seismic and geological models. A study of their characteristics, as well as numerical simulation model for obtaining spectra of signals at different positions of the points record for the purpose of comparative analysis.

П.А. Агатьев, А.В. Саматов, Р.М. Шленев, А.В. Тарасов

СУЛЬФОХЛОРИРОВАНИЕ ЭФИРОВ 2-ТИОФЕНКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ

Ключевые слова: 2-тиофенкарбоновая кислота, метиловый эфир 2-тиофенкарбоновой кислоты, протонирование карбонильной группы, сульфохлорирование, гидролиз сложноэфирной группы.

При сульфохлорировании эфиров 2-тиофенкарбоновой кислоты обнаружен факт преимущественного вступления сульфонилхлоридной группы в 5-положение. Во время выделения продуктов сульфохлорирования изопропилового и трет-бутилового эфира 2-тиофенкарбоновой кислоты путем выливания реакционной массы на лед происходит гидролиз эфирной группы.

P.A. Agatyev, A.V. Samatov, R.M. Shlenev, A.V. Tarasov

CHLOROSULFONATION OF THIOPHENE-2-CARBOXYLIC ACID ESTERS

Keywords: tiophene-2-carboxylic acid, methyl ester of tiophene-2-carboxylic acid, chlorosulfonation, hydrolysis of the ester group.

It was found that chlorosulfonation of tiophene-2-carboxylic acid esters leads to preferable introduction of sulf- group in 5-position to carboxyl group. Processing of tiophene-2-carboxylic acid iso-propil and tert-butyl esters chlorosulfonation products with water followed by hydrolysis of the ester group and formation of 5-(chlorosylfonyl)thiophene-2-carboxylic acid.

И.В. Артамонова, И.Г. Горичев, Е.Н. Чернышова, Е.Б. Годунов, С.М. Русакова

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ РАСТВОРЕНИЯ КАЛЬЦИТА И РАСЧЕТА КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Ключевые слова: растворение кальцита, диффузионные процессы, удаление накипи.

Изучена кинетика растворения кальцита при различных условиях проведения эксперимента (перемешивание, pH, при разных температурах). Разработана методика обработки экспериментальных данных с использованием кинетических кривых α–t, которая позволила найти зависимость ее значения от перемешивания и разделить скорости диффузионных и кинетических процессов.

I.V. Artamonova, I.G. Gorichev, E.N. Chernishova, E.B. Godunov, S.M. Rusakova

DEVELOPMENT OF CALCITE DISSOLUTION PROCESSES TECHNIQUE EXPERIMENTAL STUDYING AND CALCULATION OF KINETIC PARAMETERS

Key words: dissolution of calcite, diffusive processes, scaling.

The calcite dissolution kinetic is investigated under various conditions of carrying out of experiment (stirring, pH, at different temperatures).
The technique of data interpretation with use of kinetic curves α-t which has allowed to find dependence of its value on agitating is developed and to divide speeds of diffusive and kinetic processes.

С.Г. Буршнева, О.Б. Кузнецова, Н.В. Смирнова

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДМЕТОВ В РАСТВОРЕ ЩЕЛОЧНОГО СУЛЬФИТА

Ключевые слова: Коррозия, реставрация, археологическое железо, ультразвуковой капиллярный эффект.

Ультразвук необходимо применять при реставрации железных археологических предметов, чтобы

S.G. Burshneva, O.B. Kuznetsova, N.V. Smirnova

APPLICATION OF ULTRASONIC TO THE STABILIZATION TREATMENT OF ARCHAEOLOGICAL IRON IN ALKALINE SULFITE SOLUTION

Key words: Corrosion, conservation, archaeological iron, ultrasonic capillary effect.

In archaeological metal conservation ultrasonic has to be applied to compensate some of the shortcomings of alkaline sulfite method. Ultrasonic capillary effect

устранить недостатки стабилизирующей обработки в растворе щелочного сульфита. Ультразвуковой капиллярный эффект ускоряет удаление хлорид анионов и повышает полноту их удаления. Применение ультразвука в десятки раз повышает эффективность стабилизирующей обработки и сохранность экспонатов.

accelerates the removal of chloride anions and increases the completeness of their removal.

Н.В. Верещагина, Т.Н. Антонова, И.Г. Абрамов, Г.Ю. Копушкина

ОКИСЛЕНИЕ ДИЦИКЛОПЕНТЕНА ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ЭПОКСИДА В УСЛОВИЯХ МЕЖФАЗНОГО КАТАЛИЗА

Ключевые слова: дициклопентадиен, дициклопентен, окисление пероксидом водорода, эпоксиды циклоолефинов, эпоксид дициклопентена.

Изучен процесс окисления дициклопентена пероксидом водорода в условиях межфазного катализа. Обоснован выбор каталитической системы, использование которой обеспечивает образование эпоксида дициклопентена с высоким выходом. Предложены условия получения эпоксида дициклопентена, удобные для практической реализации.

N.V. Vereschagina, T.N. Antonova, I.G. Abramov, G.Y. Kopushkina

OXIDATION OF DICYCLOPENTENE WITH HYDROGEN PEROXIDE TO PRODUCE THE CORRESPONDING EPOXIDE IN THE CONDITIONS OF PHASE-TRANSFER CATALYSIS

Keywords: dicyclopentadiene, dicyclopentene, process of oxidation with hydrogen peroxide, epoxides of cycloolefines, dicyclopentene epoxide

The oxidation process of dicyclopentene with hydrogen peroxide in the conditions of phase-transfer catalysis has been studied. The choice of catalyst system, which use allows the formation of dicyclopentene epoxide oxidation with high efficiency has been based. The conditions for producing the dicyclopentene epoxide, which are convenient for practical implementation, were offered.

Е.Б. Годунов

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РАСТВОРЕНИЯ ОКСИДОВ МАРГАНЦА В РАСТВОРАХ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ

Ключевые слова: кинетика растворения, оксиды марганца, серная кислота, электрохимические параметры, электродный потенциал.

Приведены результаты кинетических исследований растворения оксидов марганца в растворах серной кислоты высоких концентраций ($[H_2SO_4]$ > 5 моль/л). Предложено эмпирическое уравнение, описывающее зависимость скорости процесса от ряда параметров и показывающее, что скорость процесса определяется величиной потенциала (Е), значением температуры и концентрацией ионов водорода в растворе.

E.B. Godunov

THE KINETICS OF DISSOLUTION OF MANGANESE OXIDE IN SULFURIC ACID SOLUTIONS OF HIGH CONCENTRATION

Keywords: dissolution kinetics, manganese oxides, sulfuric acid, electrochemical parameters, the electrode potential.

Results of the kinetic studies dissolving manganese oxide in sulfuric acid solutions of high concentration ($[H_2SO_4]$> 5 mol/l). An empirical equation describing the dependence of the process on a number of parameters, and indicating that the speed of the process is determined by the potential (E), the value of the temperature and the concentration of hydrogen ions in solution.

О.В. Доброхотов, Д.В. Луференко, И.Г. Абрамов

МОНОМЕРЫ АВ-ТИПА, СОДЕРЖАЩИЕ ДИАЗОМОСТИК

Ключевые слова: мономеры для поликонденсации, 4-аминофталонитрил, диазотирование, азосочетание.

Данная работа посвящена новому методу синтеза 4-(аминофенилазо)фталевых кислот – мономеров АВ-типа для полиэфиримидов. В работе рассмотрены проблемы синтеза промежуточных арилазофталонитрилов и описаны способы их решения. Описана реакция получения целевых аминофталевых кислот.

O.V. Dobrohotov, D.V. Luferenko, I.G. Abramov

AB-TYPE MONOMERS WITH A DIAZO-BRIDGE

Key words: monomers for polycondensation, 4-aminophtalonitrile, diazotization, azo coupling.

The artical is focused on novel method of synthesis of AB-type monomers with diazo-bridge which are perspective for producing of polymers. There are discussed challenges of arilazophtalonitrile obtaining and reviewed solutions. The reaction of targeted aminophtalic acid synthesis is considered.

Н.С. Комиссарова, А.А. Хасанов, С.С. Комиссарова, В.А. Ефимов, Ю.А. Родионов

К ВОПРОСУ О СТЕРЕОСЕЛЕКТИВНОСТИ МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛООКТЕНА

N.S. Komissarova, A.A. Hasanov, S.S. Komissarova, V.A. Efimov, Ju.A. Rodionov

THE QUESTION OF STEREOSELECTIVITY METATHESIS POLYMERIZATION OF CYCLOOCTENE

Ключевые слова: стереорегулирование, метатезисная полимеризация, циклооктен.

Рассмотрен вопрос о стереоселективности формирования цис- и транс-двойных связей при метатезисной полимеризации циклооктена (ЦО), инициируемой каталитической системой гексахлорид вольфрама – тетраизобутилалюмоксан (ТИБАО). Рассмотрено влияние концентрации и состава катализатора, а также концентрации мономера на процесс стереорегулирования.

Keywords: stereoregulation, metathesis polymerization, cyclooctene.

The question of stereoselectivity of formation of the cis- and trans- double bonds at metathesis polymerization of cyclooctene initiated catalytic system of tungsten hexachloride - tetra-isobutyl-alumoxane (TIBAO) is considered. Effect of the of concentration and catalyst structure, and also concentration of monomer on process of stereoregulation is considered.

А.С. Фролов, Е.А. Курганова, Г.Н. Кошель, Е.В. Самцова, Н.Д. Кукушкина

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА 2,5-КСИЛЕНОЛА НА ОСНОВЕ П-КСИЛОЛА

Ключевые слова: окисление, 2,5-ксиленол, гидропероксид.

Изучены закономерности «окислительного» метода получения 2,5-ксиленола, на основе п-ксилола, который включает стадии синтеза изопропил(циклогексил)-п-ксилолов, их жидкофазное окисление до гидропероксидов с последующим кислотным разложением последних в 2,5-ксиленол совместно с ацетоном (циклогексанолом) соответственно.

A.S. Frolov, E.A. Kurganova, G.N. Koshel, E.V. Samtsova, N.D. Kukushkina

OXYDATIVE SYNTHESIS OF 2,5-XYLENOL FROM P-XYLENE

Key words: oxidation, 2,5-xylenol, hydroperoxydes.

Patterns of "oxydative" method of obtaining 2,5-xylenol from p-xylene were studied. It includes stages of obtaining isopropyl (cyclohexyl)-p-xylene, their liquid phase oxidation, followed by acidic decomposition of resulting hydroperoxydes, which yield desired product along with acetone or cyclohexanol.

А.А. Хасанов, В.А. Ефимов, С.С. Комиссарова, Н.С. Комиссарова, Ю.А. Родионов

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Ключевые слова: Молекулярно-массовое распределение, математическая модель, программа, расчет.

Рассмотрены вопросы расчета молекулярно-массового распределения (ММР) полимеров, образующихся в процессе обратимой живущей полимеризации. Разработана программа, позволяющая рассчитать ММР и его параметры с необходимой степенью точности.

A.A. Hasanov, V.A. Efimov, S.S. Komissarova, N.S. Komissarova, Ju.A. Rodionov

DEVELOPMENT PROGRAM FOR THE CALCULATION OF MOLECULAR MASS DISTRIBUTION OF POLYMERS

Keywords: molecular mass distribution, mathematical model, program, calculation

Questions of calculation of the molecular-mass distribution (MMD) of the polymers which are forming in the course of reversible living polymerization are considered. The program allowing to calculate MMD and its parameters with necessary degree of accuracy is developed.

Ж.В. Чиркова, М.В. Кабанова, С.И. Филимонов, И.Г. Абрамов, Е.А. Смирнова

СИНТЕЗ НОВЫХ ЗАМЕЩЁННЫХ ХИНОКСАЛИН-6,7-ДИКАРБОНИТРИЛОВ

Ключевые слова: диамины, карбонильные соединения, хиноксалины, ЯМР-спектроскопия.

Исследована реакция 4,5-диаминафталонитрила с этиловым эфиром 3-циано-3-(4-метоксикфенил)-2-оксопропионовой кислоты и зафиксировано образование 2-[1-циано-2-(4-метоксифенил)-2-оксоэтилиден]-3-оксо-1,2,3,4-тетрагидрохиноксалин-6,7-дикарбонитрила при длительном нагревании.

Zh.V. Chirkova, M.V. Kabanova, S.I. Filimonov, I.G. Abramov, E.A. Smirnova

SYNTHESIS OF NEW SUBSTITUTED QUINOXALINE-6,7-DICARBONITRILES

Keywords: diamines, dicarbonyl compounds, quinoxalines, NMR spectroscopy.

Reactions of 4,5-diaminophthalonitrile with ethyl 3-cyano-3-(4-methoxyphenyl)-2-oxopropanoate studied and 2-[cyano(4-methoxyphenyl)methylene]-3-oxo-1,2,3,4-tetrahydroquinoxaline-6,7-dicarbonitrile synthesized under heating over a long period of time.

Р.М. Шленев, П.А. Агатьев, И.М. Слободянюк, А.В. Тарасов

СИНТЕЗ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТИАЗОЛО-[3,2-а]-ХИНАЗОЛИН-5-ОНА НА ОСНОВЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХЛОРАНГИДРИДОВ ОРТО-ГАЛОГЕНАРОМАТИЧЕСКИХ КИСЛОТ С 2-

R.M. Shlenev, P.A. Agatyev, I.M. Slobodyanyuk, A.V. Tarasov

SYNTHESIS OF NEW DERIVATIVES OF THIAZOLO-[3,2-a]-QUINAZOLINE-5-ONS BASED ON INTERACTION OF CHLOROANHYDRIDES OF ORTHO HALOAROMATIC ACIDS WITH 2-

АМИНОТИАЗОЛОМ

Ключевые слова: 2-аминотиазол, ароилирование, циклоконденсация, производные тиазоло-[3,2-а]-хиназолин-5-она.

На основе ряда модельных хлорангидридов о-хлорбензойной, хлорникотиновой кислот и 2-аминотиазола изучена зависимость выхода в реакциях синтеза тиазоло-[3,2-а]-хиназолин-5-онов. Синтезирован ряд ранее не описанных в литературе соединений.

AMINOTHIAZOLE

Keywords: 2-Aminothiazol, aroylation, cyclocondesation, derivatives of thiazolo-[3,2-a]-quinazolin-5-one.

The dependency of yield in reaction of synthesis of substituted thiazolo-[3,2-a]-quinazoline-5-ones from structure of parent compounds using series of model derivatives of 2-chlorobenzoic acid, 2-chloronicotinic acid and 2-aminothiazole has been studied. A number of new compounds was obtained and described.

Е.В. Агалаков, О.В. Караваева, Д.А. Страбыкин

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИИ ИЗ ЗАДАННОЙ ФАЗЫ

Ключевые слова: прогнозирование развития ситуации, фаза развития ситуации, заданная фаза, схема логического вывода, предсказание траектории, общий прогноз.

В статье предложен логический метод прогнозирования развития ситуации из заданной фазы, представлены формальные описания задачи предсказания траектории развития ситуации из заданной фазы и соответствующей ей задачи дедуктивного логического вывода с построением схемы прогноза. Применение метода проиллюстрировано на примере с использованием исчисления высказываний.

E.V. Agalakov, O.V. Karavaeva, D.A. Strabikin

LOGICAL METHOD OF FORECASTING THE DEVELOPMENT OF THE SITUATION FROM A GIVEN PHASE

Keywords: forecasting the development of the situation, the phase of development of the situation, the given phase, the scheme of inference, prediction of the trajectory, the overall prognosis.

This paper proposes a logical method for forecasting the development of the situation from a given phase, presented a formal descriptions of the problem trajectory prediction from a given phase and the tasks of deductive inference with the construction of the scheme of forecasting. Application of the method is illustrated using the example of the propositional calculus.

В.И. Ампилов, А.А. Лестева

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ОБУЧЕНИЯ В СРЕДЕ SOLIDWORKS ENTERPRISE PDM

Ключевые слова: методические компоненты, конструкторская и технологическая документация, детали.

Статья посвящена вопросам разработки прикладной системы для молодых специалистов промышленного предприятия, использующих систему управления данными об изделии (PDM). Система имеет методические компоненты, необходимые для освоения процедур создания конструкторских и технологических документов. Приводится краткая аннотация разработанной системы на примере конкретных деталей.

V.I. Ampilov, A.A. Lesteva

AUTOMATED SYSTEM FOR DEVELOPMENT OF TECHNICAL DOCUMENTATION WITH ELEMENTS OF TRAINING IN SOLIDWORKS ENTERPRISE PDM

Keywords: methodical components, design and technological documentation, spare parts, details.

The article focuses on matters of development of the application system for developing professionals of industrial enterprises, who use the system of product data management (PDM). The system includes methodological components required for mastering the use of procedures of creation of engineering documents. The article includes a brief summary of the developed system basing on the example of specific spare parts.

А.С. Андреев, Е.А. Кудашова, О.А. Перегудова

О МОДЕЛИРОВАНИИ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ПРЯМОГО МЕТОДА ЛЯПУНОВА

Ключевые слова: математическое моделирование, управление движением, стабилизация, цифровой регулятор, метод Ляпунова.

В работе рассматривается задача построения моделей управляемых динамических систем, функционирующих в непрерывном времени, с дискретным управлением. Рассмотрены различные подходы к решению данной задачи: метод дискретизации системы, метод сведения системы к функционально-дифференциальному уравнению с

A.S. Andreev, E.A. Kudashova, O.A. Peregudova

DIRECT LYAPUNOV METHOD IN THE DIGITAL CONTROL MODELING

Keywords: mathematical modeling, motion control, stabilization, digital control, Direct Lyapunov Method.

This paper considers a problem of construction of models for controlled dynamical systems in continuous time with discrete control. There were considered different approaches for problem solution: discrete-time design, continuous-time design with modeling by use functional differential equations with delay. On the base of the use of semi-definite Lyapunov functions and functionals there were obtained new theorems on

запаздыванием. На основе применения знакопостоянных функций и функционалов Ляпунова получены новые теоремы об асимптотической устойчивости нулевого решения неавтономных систем разностных уравнений и функционально-дифференциальных уравнений с запаздыванием.

asymptotic stability of zero solution for non-stationary systems of discrete and functional-differential equations.

П.И. Андреева, Е.Ю. Сергеевцев, А.В. Голованов, С.В. Щербина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО - РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КУПОЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ АТОМНОГО РЕАКТОРА ВВЭР-1000

Ключевые слова: динамические характеристики, собственные колебания, защитная оболочка, форма колебаний, записи колебаний.

В статье приведены результаты натурных динамических исследований защитных оболочек АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и результаты расчета купольной части защитной оболочки с геометрическим дефектом, выявленным в ходе проведения экспериментальных исследований.

P.I. Andreeva, E.U. Sergeevcev, A.V. Golovanov, S.V. Sherbina

EXPERIMENTAL-DESIGN RESEARCH ON DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE NUCLEAR REACTOR WWER-1000 SHELL

Keywords: dynamic characteristics, natural oscillations, shielding, vibration mode shapes, vibration records.

The article presents results of field researches of dynamic characteristics protective shells water-water power reactor – 1000 and the results of calculation of the dome of containment shell with geometric defect identified during the of experimental research.

И.А. Анисимов, Р.А. Хлопотов

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДА ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЯ НА РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА ОТ РЕЖИМА РАБОТЫ АКПП И ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ

Ключевые слова: Автоматическая коробка передач, гидромеханическая коробка передач, гидротрансформатор, планетарный редуктор, расход топлива, холостой ход.

Данная статья посвящена проблеме расхода топлива двигателя при работе на холостом ходу в зависимости от режима работы автоматической трансмиссии с учетом влияния температурных условий. Объектом выступает автоматическая КПП. Проанализирована номенклатура автомобилей, наиболее часто встречающихся в Российской Федерации и оснащенных автоматическими коробками передач. Проведен обзор конструкции гидромеханической коробки передач.

I.A. Anisimov, R.A. Hlopotov

THE JUSTIFICATION OF RESEARCH'S TOPICALITY OF DEPENDENCE OF FUEL CONSUMPTION WHEN THE ENGINE IN IDLING, DEPENDING ON THE MODE OF THE AUTOMATIC TRANSMISSION FOR THE EFFECTS OF TEMPERATURE CONDITIONS

Key words: Automatic Transmission, hydro-mechanical transmission, torque converter, planetary gearbox, fuel consumption, engine idling.

This article investigates the problem of fuel consumption when an engine in idling, depending on the mode of the automatic transmission for the effects of temperature conditions. The object of investigation is an automatic transmission. The range of more popular in Russian Federation and equipped of automatic transmission cars in the article. In addition, the review of the design of hydro-mechanical transmission has been marked in the article.

Н.Н. Анохин, В.Л. Мондрус, В.А. Смирнов

ЧИСЛЕННЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ФАСАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ключевые слова: температурный шок, температурные напряжения, растрескивание стекол, МКЭ, стационарное распространение тепла.

В работе рассматриваются вопросы образования трещин в наружных ограждающих светопрозрачных конструкциях от температурных напряжений в стеклах. Оценивается текущее состояние исследований по данному вопросу, а также рассматриваются случаи трещинообразования стёкол из инженерной практики. Проводится численное моделирование стационарного теплообмена

N.N. Anokhin, V.L. Mondrus, V.A. Smirnov

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF TERMAL STRESSES IN FACADE STRUCTURES

Key words: heat shock, thermal stress, window glazing cracking, FEA, heat transfer.

This article deals with a problem of outdoor translucent building envelope cracking due to thermal stresses in window's glazing. The present state of investigations on the matter is investigated and different cases of window glazing are covered form engineering practice. Steady-state heat transfer problem in glazing is computed using FE code Femap, stresses and deformations are measured in different zones of window glazing subjected to different boundary conditions.

в стёклах, определяются деформации, и напряжения в различных зонах стекла при различных способах закрепления.

А.Р. Барашев, С.В. Карелов, С.В. Мамяченков, О.С. Анисимова, В.В. Егоров
ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ КАДМИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

A.R. Barashev, S.V. Karelov, S.V. Mamyachenkov, O.S. Anisimova, V.V. Egorov
REVIEW OF PROCESSING SECONDARY CD-CONTAINING WASTE

Ю.А. Барков, А.С. Бестужева
ФОРМЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЯ

Ключевые слова: сейсмостойкость плотин, формы и частоты собственных колебаний, спектр реакции, коэффициент динамичности, сейсмические силы.

В работе определены периоды и формы собственных колебаний плотины с учетом упругих свойств основания, даны оценки вклада каждой формы в величину сейсмической силы.

Y.A. Barkov, A.S. Bestusheva
FORMS OF SELF-OSCILLATIONS OF A CONCRETE DAM WITH THE ELASTIC PROPERTIES REASON

Keywords: seismic stability of dams, form and frequency of oscillations, response spectrum, the dynamic factor, seismic forces.

In the work of the defined periods and forms of self-oscillations of the dam with the elastic properties reason, estimates of the contribution of each form in the seismic force.

А.О. Барышов
ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЗАТОРА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: спирально-винтовой рабочий орган, конический бункер, коэффициент вариации.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований дозатора со спирально-винтовым рабочим органом, в частности, зависимости производительности от частоты вращения рабочего органа и конструктивных параметров устройства.

A.O. Baryshov
RESEARCH BATCHER BULK MATERIALS

Keywords: the spiral screw working arrangement, conical hopper, the coefficient of variation.

The work presents the results of experimental studies of the dispenser with spiral-screw working arrangement, in particular, the dependence of performance of the rotation frequency of the working arrangement and structural parameters of the device.

В.Ф. Беккер
ОРГАНИЗАЦИЯ ДВУХУРОВНЕВОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В ТУРБУЛЕНТНОЙ ГИДРОДИНАМИКЕ ТРЕХФАЗНОГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ

Ключевые слова: трехфазное псевдоожижение, газожидкостная структура, интенсификация гидродинамики, подвижная насадка.

Показана теоретическая возможность, практический способ и условия организации двухуровневой неоднородности в турбулентной гидродинамике трехфазного псевдоожиженного слоя, интенсифицированной введением дополнительных подвижных элементов в тетраэдрические и октаэдрические пустоты плотнейшей шаровой упаковки.

V.F. Becker
ORGANIZATION DUPLEX NONUNIFORMITY IN THE THREE-PHASE FLUIDIZED-HYDRODYNAMIC TURBULENCE

Keywords: three-phase fluidization, gas-liquid structure, intensification of hydrodynamics, the movable nozzle.

Shows the theoretical possibility, practical way and conditions for the two-level heterogeneity in turbulent hydrodynamics of three-phase fluidized bed, intensified by introducing additional mobile elements in tetrahedral and octahedral voids densest packing ball.

С.Л. Белоусов, И.Е. Евдокимов, А.А. Журавлев, Б.Ю. Ященко, А.А. Яковлев, В.В. Донских
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОПЛА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: инфракрасное излучение; численное моделирование.

В статье приведены результаты расчёта и краткая методика численного исследования излучения сопла

S.L. Belousov, I.E. Evdokimov, A.A. Zhuravlev, B.J. Yaschenko, A.A. Yakovlev, V.V. Donskih
NUMERICAL SIMULATION OF INFRARED JETS AIRCRAFT ENGINE

Keywords: infrared; numerical simulation.

The results of calculation and brief method of numerical modeling studies of radiation nozzle motor at different viewing angles. Mathematical modeling of radiation was performed assuming diffuse surface properties and are

модельного двигателя на разных углах визирования. Математическое моделирование излучения выполнялось в предположении диффузных свойств поверхностей и показало хорошее соответствие с экспериментальными результатами. Статья полезна специалистам и исследователям в области оптики, лучистого теплообмена и численного моделирования.

С.Л. Белоусов, И.Е. Евдокимов, А.А. Журавлев, Б.Ю. Ященко, А.А. Яковлев, В.В. Донских
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОПЛА МОДЕЛЬНОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
Ключевые слова: инфракрасное излучение; экспериментальное исследование.

В статье приведена методика экспериментальных замеров уровней излучения модельного двигателя на разных углах визирования. Экспериментальное исследование было проведено с применением тепловизора FLIR S60. Суммарные лучистые потоки были получены путём обработки термограмм.

S.L. Belousov, I.E. Evdokimov, A.A. Zhuravlev, B.J. Yaschenko, A.A. Yakovlev, V.V. Donskih
EXPERIMENTAL STUDY OF INFRARED NOZZLE MODEL AIRCRAFT ENGINE
Keywords: infrared radiation, experimental research.

The article describes a method of experimental measurements of radiation levels at different engine model viewing angles. The experimental study was conducted with the use of a thermal imager FLIR S60. Summary radiant fluxes were obtained by processing the thermograms.

А.В. Белянин, О.В. Егорова, Н.В. Ливенцова
МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ПРОИЗВОДСТВА ФТОРА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА
Ключевые слова: измерительная система, модель, компьютерный тренажер, вероятностный механизм, нештатные ситуации.

В работе представлен механизм формирования нештатных ситуаций, включающий матрицу формирования нештатных ситуаций и процедуру вероятностного выбора имитируемой ситуации и времени ее продолжительности. Показаны результаты численных экспериментов по проверке работоспособности предложенного механизма.

A.V. Belyanin, O.V. Egorova, N.V. Liventsova
THE MECHANISM OF ABNORMAL SITUATIONS FORMATION IN THE FLUORINE PRODUCTION ELECTROLYZER MEASURING SYSTEM MODEL FOR COMPUTER SIMULATOR
Keywords: measuring system, model, computer simulator, probabilistic mechanism, abnormal situations.

This paper presents a mechanism for the formation of abnormal situations, including an array formation of abnormal situations and probabilistic selection procedure of the simulated situation and its time duration. The results of numerical experiments to verify the functionality of the proposed mechanism are shown.

Н.С. Бессонова, Т.В. Германова
ОЦЕНКА ИНСОЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ РАЗМЕЩЕНИИ ОБЪЕКТА УПЛОТНИТЕЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ
Ключевые слова: инсоляция жилых территорий, уплотнительная застройка, градостроительство.

В работе проведена оценка инсоляционного режима на территории жилой застройки в г.Тюмени при различном размещении объекта «точечной» застройки.

N.S. Bessonova, T.V. Germanova
ASSESSMENT INSOLATION REGIME OF THE TERRITORY AT DIFFERENT TARGET PLACEMENT SEALING BUILDINGS
Keywords: insolation residential areas, sealing buildings, urban planning.

We evaluated the insolation regime on the territory of residential construction in Tyumen at different placement of an object «spot» of building.

А.С. Бестужева
ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ В БЕТОННОЙ ПЛОТИНЕ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЯ
Ключевые слова: сейсмостойкость плотин, сейсмические нагрузки, акселерограмма, спектр реакции, коэффициент динамичности.

В работе проведено сравнение сейсмических сил и ускорений, полученных разными спектральными методами. Даны критерии оценки

A.S. Bestusheva
DYNAMIC LOADS IN A CONCRETE DAM WITH AN EARTHQUAKE OF THE ELASTIC PROPERTIES REASON
Keywords: seismic stability of dams, seismic loads, response spectrum.

In the work the comparison of seismic forces and accelerations, received by different spectral methods. Given the criteria for the assessment of the performance of the concrete dams on the pulsations of seismic

работоспособности бетонной плотины по пульсациям сейсмических напряжений.

stresses.

С.В. Бирюков

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ В СФЕРЕ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНЫХ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

Ключевые слова: расчётно-графические программы, качество образования, ТГВ, теплоснабжение.

В статье описан один из способов контроля и повышения качества образования при подготовке студентов по специальности теплогазоснабжения.

S.V. Biryukov

USING COMPUTER PROGRAMS TO IMPROVE THE QUALITY OF EDUCATION IN THE HEAT AND GAS SUPPLY AREA

Keywords: graphics programs, quality education, heating.

This article describes one way to monitor and improve the quality of education in preparing students for specialization of heat and gas supply.

П.В. Борков

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФУРАНОВЫХ СМОЛ

Ключевые слова: модуль упругости, долговечность, длительная прочность, прочность при растяжении, фурановый композит.

В статье представлены результаты исследования деформационно-прочностных свойств композиционных материалов на основе фурановых смол в зависимости от времени эксплуатации.

P.V. Borkov

STUDY STRAIN-STRENGTH CHARACTERISTICS OF COMPOSITES BASED ON FURAN RESINS

Keywords: modulus of elasticity, durability, creep rupture strength, tensile strength, furan composite.

The article presents the results of a study of deformation and strength properties of composite materials based on furan resins depending on the time of use.

В.Н. Ботяшин, Ю.Д. Козинер

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ТУГОПЛАВКИХ ТАНТАЛОВЫХ СПЛАВОВ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ключевые слова: охлаждающая жидкость, шлифование, оптимизация, рекомендации.

В работе приведены результаты комплексных исследований процесса шлифования танталовых сплавов. Так же были определены оптимальные характеристики шлифовальных кругов и охлаждающих жидкостей. Были построены математические модели процесса шлифования и на их базе были рассчитаны оптимальные режимы резания с учетом наложенных технических ограничений. Исследования проводились в условиях круглого наружного шлифования в центрах на станках повышенной точности.

V.N. Botyashin, Y.D. Koziner

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF GRINDING OF TANTALIC ALLOYS ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELS

Coolant liquid, grinding, optimization, mathematical model, references.

The paper presents the results of comprehensive studies of the grinding process of tantalum alloys. It also specifies the optimum characteristics of grinding wheels and coolants. Were constructed mathematical models of the grinding process, and on this basis were calculated optimum cutting conditions considering the technical limitations. The studies were conducted in a round outer grinding centers for machining high precision.

А.П. Буйносов, Д.С. Денисов

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ МАРКИРОВКИ БАНДАЖЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ 2ЭС10

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, надежность, маркировка, глубина, влияние.

В статье рассматривается одна из причин непараметрического отказа (скол и образование трещин) бандажей колесных пар в процессе эксплуатации электровозов 2ЭС10 – глубина маркировки при их изготовлении. Показано, что нет зависимости между глубиной маркировки и надежностью бандажей электровозов «Гранит».

A.P. Buinosov, D.S. Denisov

INFLUENCE OF DEPTH OF MARKING OF BANDAGES ON RELIABILITY OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES 2ES10

Key words: electric locomotive, wheel couple, bandage, reliability, marking, depth, influence.

In article one of the reasons of nonparametric refusal (a chip and formation of cracks) bandages of wheel couples in use electric locomotives 2ES10 – marking depth is considered at their production. It is shown that there is no dependence between depth of marking and reliability of bandages of electric locomotives «Granite».

А.П. Буйносов, А.М. Кислицын
МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОВОЗА
Ключевые слова: электровоз, движение, колесная пара, параметры, диаметр, измерение, методы.

В статье приведены методы автоматизированного измерения геометрических параметров колесных пар при движении электровоза по железнодорожному пути, приведен их сравнительный анализ.

A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn
METHODS OF THE AUTOMATED MEASUREMENT OF PARAMETERS OF WHEEL COUPLES AT ELECTRIC LOCOMOTIVE MOVEMENT
Key words: electric locomotive, movement, wheelpair, parameters, diameter, measurement, methods.

Methods of the automated measurement of geometrical parameters of wheelpairs are given in article at movement of an electric locomotive on a track, their comparative analysis is provided.

А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков
ПРИМЕНЕНИЕ ПИРАМИДЫ ГЕНРИХА ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ
Ключевые слова: электропоезд, электропоезд, нарушение безопасности, пирамида Генриха, коэффициент безопасности.

В статье рассматривается использование пирамиды Эрдмана Генриха для оценки безопасности движения электропоездов моторвагонных депо Свердловской дирекции по обслуживание пассажиров в пригородном сообщении. Рассчитан коэффициент комплексного показателя безопасности.

A.P. Buinosov, D.Yu. Kozakov
APPLICATION OF THE PYRAMID OF HENRY FOR THE ASSESSMENT OF TRAFFIC SAFETY OF ELECTRIC TRAINS
Key words: electric train, electric train, safety violation, Henry's pyramid, safety coefficient.

In article use of a pyramid of Erdman Henry for an assessment of traffic safety of electric trains of motorvagonny depots of Sverdlovsk management on service of passengers in the suburban message is considered. The coefficient of a complex index of safety is calculated.

А.П. Буйносов, И.О. Шепелева
УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ ЗА СЧЕТ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ГРЕБНЕЙ БАНДАЖЕЙ
Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, упрочнение, ресурс.

В статье приведены результаты сравнительного анализа изнашивания гребней колесных пар электровозов ВЛ10, прошедших плазменную закалку гребней бандажей и без упрочнения. Сделан вывод об эффективности применения плазменного упрочнения – интенсивность износа гребней бандажей уменьшилась на 25 %, ресурс до обточки колесных пар электровозов увеличился на 34%.

A.P. Buinosov, I.O. Shepeleva
INCREASE IN THE RESOURCE OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES AT THE EXPENSE OF PLASMA HARDENING OF CRESTS OF BANDAGES
Key words: electric locomotive, wheel couple, bandage, hardening, resource.

Results of the comparative analysis of wear of ridges of wheelpairs of electric locomotives of VL10 which has passed plasma training of ridges of bandages and without hardening are given in article. The conclusion is drawn on efficiency of application of plasma hardening – intensity of wear of ridges of bandages decreased by 25%, the resource before turning of wheelpairs of electric locomotives increased by 34%.

А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, Б.С. Юшков, В.А. Бурмистров
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕ- И ГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ ДОРОГ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ГРУНТОВ
Ключевые слова: электрохимическое закрепление грунтов, слабые грунты, уплотнение грунта, нефте- и газопромысловые дороги.

В работе представлена технология закрепления грунта оснований на действующих нефте-газотрубопроводах и нефтегазопромысловых дорогах, позволяющая значительно снизить экологические риски.

A.M. Burgonutdinov, O.N. Burmistrova, B.S. Yuchkov, V.A. Burmistrov
INCREASE THE RELIABILITY OF OIL AND GAS PRODUCTION ROADS ELECTROCHEMICALLY GROUTING
Keywords: electrochemical grouting, loose soil, soil compaction, and oil and gas field road.

The paper presents the technology of soil consolidation basis at existing oil and gas pipelines, and oil country roads, which allows to significantly reduce the environmental risks.

А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, Б.С. Юшков, В.А. Бурмистров
К ВОПРОСУ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКОВ СЛУЖБЫ

A.M. Burgonutdinov, O.N. Burmistrova, B.S. Yuchkov, V.A. Burmistrov
GO TO INCREASE LIFETIME OF THE ROAD

ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Ключевые слова: сезонное промерзание, морозоустойчивость дорожной одежды, морозобойные трещины, лесные дороги.

В работе рассмотрен вопрос увеличения сроков службы дорог конструкций лесных дорог.

FOREST ROAD CONSTRUCTION

Keywords: seasonal freezing, frost pavement frost cracks, forest roads.

A question of increasing the service life of roads construction of forest roads.

Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМАХ В МОДЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

Ключевые слова: физический эксперимент, модельная установка, резонансная масса.

В работе представлены результаты физического эксперимента на модельной установке. Особый акцент уделен результатам при резонансной массе, для каждой из оболочек, выбранных для эксперимента. Диапазон частот, в которых проводятся измерения от 0 до 1000 Гц.

L.N. Butimova, V.Ya. Modorksy

RESEARCH OF OSCILLATORY PROCESSES IN RESONANCE MODES IN THE MODEL CONSTRUCTION

Key words: physical experiment, model construction, the resonance mass.

The paper presents the results of physical experiment on the model construction. Special emphasis given to the results at the resonance mass, for each of the envelopes selected for the experiment. Frequency range are from 0 to 1000 Hz.

Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский, Ю.В. Соколкин

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА КОРПУСА НА РЕЗОНАНСНЫЕ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМЕ «ГАЗ-КОНСТРУКЦИЯ»

Ключевые слова: физический эксперимент, модельная установка, резонансная частота.

В работе представлены результаты физического эксперимента на модельной установке. В ходе физического эксперимента исследовалось влияние физико-механических характеристик материала оболочки модельной установки на ее перемещения. Произведена оценка влияния колебаний газового потока на перемещения оболочки в продольном и радиальном направлениях.

L.N. Butimova, V.Ya. Modorksy, U.V. Sokolkin

DEVELOPMENT THE EXPERIMENTAL EQUIPMENT AND RESEARCH INFLUENCE OF THE MATERIAL PROPERTIES ON THE RESONANT FREQUENCIES IN THE SYSTEM «GAS - CONSTRUCTION»

Keywords: physical experiment model construction, the resonance frequency.

In this paper presents the results of physical experiments on a model construction. In a physical experiment authors research influence the physical and mechanical characteristics of a material of the shell model construction on its move. An is analysis of influence the fluctuations in the gas flow on the shell movement in the longitudinal and radial directions.

С.Н. Бутырский, О.А. Ковальчук

ТЕХНОГЕННОЕ ВИБРАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЗДАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ

Ключевые слова: вибрационное воздействие, здание повышенной этажности, динамическое явление, натурное измерение, диапазон частот.

В статье представлены экспериментальные и расчетные исследования динамических явлений в зданиях повышенной этажности, вызванных техногенным вибрационным воздействием (метро) на примере 18-этажного крупнопанельного здания серии КОПЭ. Экспериментальные данные получены путем натурных измерений динамических характеристик на здании, расположенном в СВАО г. Москвы вблизи линии метро неглубокого заложения.

S.N. Butyrsky, O.A. Kovalchuk

TECHNOGENIC VIBRATION IMPACT ON HIGH RISE BUILDINGS

Key words: vibration impact, high-rise building, dynamic process, field measurement, frequency range.

The article presents both experimental and theoretical studies of dynamic processes in high-rise buildings caused by technogenic vibration impacts (underground railway lines) at the example of a 18-storey large-panel building (KOPE series). The experimental results were obtained through the field measurements of dynamic parameters performed for a similar building in North-West region of the city of Moscow located near a shallow underground railway line.

А.М. Васильев, Н.А. Олейников

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНЫМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Ключевые слова: математическая модель, агрегаты бесперебойного электропитания, информационно –

A.M. Vasilyev, N.A. Oleynikov

INFORMATION-MEASURING CONTROL SYSTEM OF UNINTERRUPTED POWER SUPPLIES OF DIFFICULT TECHNICAL OBJECT

Keywords: mathematical model, units continuous power supplies, it is information - the operating system, the integrated static converter, independent object

управляющая система, интегрированный статический преобразователь, автономный объект.

В статье представлены результаты разработки функциональной схемы информационно-измерительной системы управления бесперебойным питанием сложного технического объекта, который представлен в виде совокупности информационно-измерительной и управляющей системы и совокупности исполнительных устройств, входящих в агрегат бесперебойного электропитания. Представлена функциональная схема интегрированного статического преобразователя как основного составляющего элемента агрегата бесперебойного электропитания.

In article results of working out of a function chart of an information-measuring control system are presented by an uninterrupted food of difficult technical object which is presented in the form of set of information-measuring and operating system and set of the actuation mechanisms entering into the unit of uninterrupted power supplies. The function chart of the integrated static converter as basic making element of the unit of uninterrupted power supplies is presented.

Д.В. Вожегов, Д.А. Страбыкин

МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕДУКТИВНОГО ВЫВОДА ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ЗАКЛЮЧЕНИЮ УТВЕРЖДЕНИЙ

Ключевые слова: дедуктивный логический вывод, процедура деления дизъюнктов, определение предшествующих утверждений.

Предлагается метод логического вывода предшествующих заключению утверждений на основе процедуры деления дизъюнктов. Применение метода проиллюстрировано на примере с использованием исчисления высказываний.

D.V. Vozhegov, D.A. Strabikin

THE PARALLEL METHOD INFERENCE ASSERTIONS PRECEDING CONCLUSION

Keywords: deductive inference, disjunct division procedure, determination of the preceding assertions.

Developed a method for the inference assertions preceding conclusion. Described example of the method using propositional calculus.

Ю.Д. Волков, П.Н. Кочугаев

МОДЕЛИ ЭКСПЕРИМЕНТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Ключевые слова: задача эксперимента, неопределенность измерения, модели, вероятность, пространство состояний, нечеткость, FN-числа.

В статье рассмотрены задачи и модели эксперимента в условиях неопределенности. В основу моделей положены два подхода: вероятностный и нечеткий. Выбор модели обусловлен наличием знаний о проблемной области, что позволяет оптимизировать процесс эксперимента.

Yu.D. Volkov, P.N. Kochugaiev

THE EXPERIMENT'S MODELS IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Key words: experiment's objective, the measurement uncertainty, models, the probability, the state space, fuzzy sets, FN-numbers.

The article deals with the problems of the experiment's objectives and models in conditions of uncertainty. There are two approaches to based models: probabilistic and fuzzy approaches. Model selection is due to the knowledge of the problem area. It allows to optimize the process of the experiment.

Д.Ф. Гайнутдинова, А.В. Козлова, В.Я. Модорский, Е.В. Мехоношина

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВИБРАЦИИ

Ключевые слова: кавитация, гидродинамика, колебания, вычислительные эксперименты.

Проведены вычислительные эксперименты по выявлению кавитационных эффектов при изменении скорости и частоты движения поршня в замкнутой трубе. Получены распределения скорости, давления и концентрации в заданных сечениях конструкции и контрольных точках. Получена кинограмма изменения концентрации воздуха в трубе, заполненной жидкостью, при заданном законе движения поршня.

D.F. Gainutdinova, A.V. Kozlova, V.Ya. Modorsky, E.V. Mekhanoshina

NUMERICAL SIMULATION OF CAVITATION EFFECTS IN THE ACTION OF VIBRATION

Keywords: cavitation, fluid dynamics, vibrations, computational experiments.

According to the results of computational experiments the distributions of velocity, pressure and concentration in sections and the control points . The phenomenon of cavitation for a given law of motion of the piston. Obtained sequence of frames of changes in the concentration of air in the tube filled with liquid , given the law of motion of the piston.

А.В. Гинзбург, А.А. Скиба

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ СВЯЗАННЫХ С ФОРМИРОВАНИЕМ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПОЛИТИКИ И РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

В статье описана одна из проблем градостроительной политики, связанная с необходимостью внедрения системы управления развитием территории, которая позволила бы значительно улучшить качество территориального планирования. Для решения данного вопроса предложена методика, основанная на методе нечеткой логики, кратко изложена ее основная идея.

Ключевые слова: *градостроительная политика, метод анализа иерархий, нечеткая логика, территориальное планирование.*

A.V. Ginzburg, A.A. Skiba

APPLICATION OF THE METHOD OF FUZZY LOGIC TO SOLVE PROBLEMS ASSOCIATED WITH THE FORMATION OF TOWN-PLANNING POLICY AND DEVELOPMENT OF TERRITORIAL PLANNING

Keywords: urban planning policy, the method of analysis of hierarchies, fuzzy logic, spatial planning.

The article describes one of the problems of urban planning policy, the necessity of the introduction of the system of management of development of territory, which would significantly improve the quality of spatial planning To address this issue and suggest a methodology, based on the method of fuzzy logic, summarizes his main idea.

П.А. Горбоконенко, Т.А. Деменкова, В.С. Корзинкин, Е.Ф. Певцов

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ ЦОС НА ОСНОВЕ ПЛИС

Ключевые слова: программируемые логические схемы, микропроцессоры, цифровая обработка сигналов.

Приведен обзор аппаратно-программных средств систем цифровой обработки сигналов на основе современных разработок микропроцессоров и программируемых логических интегральных схем. Приводятся рекомендации, обеспечивающие повышение производительности систем цифровой обработки сигналов за счет замещения систем с микропроцессорных систем на системы с программируемой логикой. Работа выполнена в Центре проектирования интегральных схем, устройств наноэлектроники и микросистем МГТУ МИРЭА.

P.A. Gorbokonenko, T.A. Demenkova, V.S. Korzinkin, E.Ph. Pevtsov

HARDWARE AND SOFTWARE RESOURCE FOR INCREASE PERFORMANCE FPGA-BASED DSP SYSTEM

Key words: field programming array logic, digital signal processing, microprocessor.

This paper presents research of modern hardware and software resource of microprocessors and field programming array logic for digital signal processing. Result of this research is ability increase performance DSP system, by change microprocessor to FPGA. This is research made by "Design center of integrated circuits, nano-electronics devices and MEMS" of MSTU MIREA.

М.А. Гордеев-Бургвиц, А.В. Михайлин, Кнут Хартенштейн, Хайко Киршке

НАНО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПИТЬЕВЫХ ВОД И ИХ ОБРАБОТКА В ФРГ НА ПРИМЕРЕ ОБЛАСТИ СЕВЕРНАЯ – РЕЙНСКАЯ ФЕСТВАЛИЯ И МОСКВЫ

Ключевые слова: нано технологии, качественные параметры питьевой воды, автоматические измерения.

Статья посвящена способам и средствам, использующим нанотехнологии для измерения качественных параметров питьевых вод в ФРГ на примере области Северная – Рейнская Фествалия и в Москве.

M.A. Gordeev-Burgwitz, N.A. Michalin, Knut Hartenstein, Heike Kirschke

NANO-TECHNOLOGICAL METHODS AND MEANS OF MEASUREMENTS OF THE QUALITATIVE PARAMETERS OF DRINKING WATER IN GERMANY BASED ON THE EXAMPLE OF NORTHERN – RHINE-FESTVALIYA REGION AND MOSCOW

Keywords: nano – technological, the qualitative parameters of drinking water, automatische messing.

The report consecrated to methods and means using nano-technologies for research of the qualitative parameters of drinking water in Germany based on the example of Nothern-Rhine – Festvaliya region, and in Moscow.

М.В. Грушичева

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛИНЫ ПРИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

M.V. Grushicheva

SPEACIAL FEATURES OF GAUGE BLOCKS USE IN CALIBRATION OF MICROPROCESSOR LINEAR SENSORS BASED OF LVDT

Keywords: calibration, measuring instruments, gauge

Ключевые слова: калибровка, средства измерения, концевые меры длины.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению степени влияния притертых мер длины на результаты калибровки микропроцессорных датчиков линейных перемещений.

blocks.

The paper presents the results of experimental studies aimed to determine the degree of influence of lapped gauge blocks upon the microprocessor linear sensors calibration results.

М.В. Грушичева

РАЗРАБОТКА УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ДАТЧИКОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА БАЗЕ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Ключевые слова: крепежные элементы, средства измерения, LVDT.

В работе приведены результаты исследований о влиянии материала узла креплений на микропроцессорный датчик линейных перемещений на базе линейного дифференциального трансформатора.

M.V. Grushicheva

DEVELOPMENT OF AN ATTACHMENT POINT FOR MICROPROCESSOR LINEAR SENSOR BASED OF LVDT

Keywords: fasteners, measuring instrumentats, LVDT.

The paper presents the results of the analysis of the influence of attachment point material on the microprocessor linear sensors based of LVDT.

Н.В. Данилина

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ «ПЕРЕХВАТЫВАЮЩИХ» СТОЯНОК

Статья посвящена вопросам размещения «перехватывающих» стоянок в составе городских территорий. Являясь многофункциональным объектом транспортной инфраструктуры с широким спектром целей и задач, стоянки подобного типа требуют учета множества факторов в процессе их проектирования. В статье представлена схема последовательного анализа совокупности данных, результатом которого является обоснованный выбор рекомендуемого для реализации архитектурно - планировочного решения «перехватывающей» стоянки.

Ключевые слова: «перехватывающая» стоянка, транспортно-пересадочный узел, многофакторный анализ, архитектурно-планировочное решение.

N.V. Danilina

ORGANIZATIONAL FRAMEWORK OF THE «PARK-AND-RIDE» FACILITY PLANNING PROCESS

Key words: «park-and-ride» facility, Transit&Transport terminal, multivariate analysis, architectural-planning solution.

The article is devoted to the issues of «Park and ride» gates within urban areas. Being a multifunctional object of transport infrastructure with a wide range of goals and objectives, sites of this type require consideration of many factors in the process of their design. The article presents sequential analysis of the totality of the data, which results in a reasonable selection of the recommended for the implementation of the architectural and planning solutions «intercepting» Parking.

М.А. Дашевский, В.Л. Мондрус, Д.К. Сизов, С.Н. Шутовский

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЯХ БЫВШЕЙ ГОРОДСКОЙ УСАДЬБЫ XVIII-XIX вв., ВХОДЯЩИХ В КОМПЛЕКС ЗДАНИЙ ГМИИ им. А.С. ПУШКИНА

Ключевые слова: виброзащита зданий, резинометаллический виброизолятор, метрополитен.

В статье описывается впервые выполненная в России система виброзащиты существующего кирпичного здания, расположенного в непосредственной близости от линии метрополитена. Метод виброзащиты основан на использовании резинометаллических заменяемых виброизоляторах.

M.A. Dashevskii, V.L. Mondrus, D.K. Sizov, S.N. Shutovskii

FEATURES OF THE DEVICE VIBRATION PROTECTION IN EXISTING BUILDINGS FORMER CITY MANOR XVIII-XIX CENTURIES, INCLUDED IN THE COMPLEX OF BUILDINGS OF THE STATE MUSEUM OF A.S. PUSHKINA

Keywords: *vibration protection of buildings, rubber isolators, underground.*

This paper describes for the first time made in the Russian system of vibration protection of the existing brick building, located in the immediate vicinity of the metro line. The method is based on the use of vibration isolation rubber vibration isolators replacement.

А.В. Жданов

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА

Ключевые слова: Система вспомогательного кровообращения (ВК), искусственное сердце (ИС), классификация, мехатронный модуль (ММ).

В статье рассматриваются вопросы классификации мехатронных модулей систем вспомогательного кровообращения (ВК) и искусственного сердца (ИС). Представлены результаты анализа известных отечественных и зарубежных конструкций модулей систем ВК и ИС

A.V. Zhdanov

CLASSFICATION OF MECHATRONIC UNITS OF SYSTEMS OF AUXILIARY BLOOD CIRCULATION AND ARTIFICIAL HEART

Keywords: Left ventricle assist device (LVAD), total artificial heart (TAH), classification, mechatronic unit.

In article questions of classification of mechatronic units of systems of the left ventricle assist device (LVAD) and the total artificial heart (TAH) are considered. Analysis results of known domestic and foreign constructions of modules of systems of LVAD and the TAH are provided.

А.В. Жданов, И.В. Волкова

АНАЛИЗ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ СИСТЕМ ОБХОДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА

Ключевые слова: система обхода левого желудочка сердца (ОЛЖС), анализ схем, мехатронный модуль (ММ).

В статье проводится анализ схем и конструкторских решений мехатронных модулей систем обхода левого желудочка сердца пульсирующего типа. Представлены результаты анализа отечественных и зарубежных схем модулей, описаны перспективные варианты конструкций.

A.V. Zhdanov, I.V. Volkova

ANALYSIS OF DESIGN DECISIONS OF MECHATRONIC UNITS OF LEFT VENTRICLE ASSIST SYSTEMS

Keywords: left ventricle assist system (LVAS), design, mechatronic unit.

In article is carried out the analysis of diagrams and designer solutions of mechatronic units of pulsative left ventricle assist systems is carried out. Analysis results of domestic and foreign diagrams of units are provided, perspective options of constructions are described.

В.Г. Жуков, В.В. Бухтояров

АЛГОРИТМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С РАДИАЛЬНЫМИ БАЗИСНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, радиальные базисные функции, классификация, инциденты информационной безопасности.

В работе представлен краткий обзор методов проектирования искусственных нейронных сетей с радиальными базисными функциями в контексте их применения для решения задач классификации. Приведены результаты сравнительного исследования эффективности рассмотренных методов на наборе тестовых задач. Приводятся и обсуждаются результаты применения нейронных сетей с радиальными базисными функциями для решения задачи обнаружения инцидентов информационной безопасности на примере набора данных KDD Cup'99. Обсуждаются перспективные направления для дальнейших исследований нейронных сетей с радиальными базисными функциями и возможности их использования в распределенных системах обнаружения вторжений в компьютерных сетях.

V.G. Zhukov, V.V. Bukhtoyarov

ALGORITHMS FOR DESIGN NEURAL NETWORKS WITH RADIAL BASIS FUNCTIONS FOR CLASSIFICATION PROBLEMS ANT THEIR APPLICATION TO DETECTING INFORMATION SECURITY INCIDENTS

Keywords: artificial neural networks, radial basis functions, classification, information security incidents.

In the paper the methods of designing artificial neural network with radial basis functions are briefly overviewed under consideration of their application to solving classification problems. The results of comparative effectiveness research of such methods on a set of test problems are presented. The results of the application of neural networks with radial basis functions for solving the problem of detection of information security incidents on the example data set KDD Cup'99 are discussed. Promising directions for future research of neural networks with radial basis functions and the possibility of their use in distributed intrusion detection systems in computer networks are marked.

В.А. Завьялов, В.А. Величкин, Р.С. Ульянов, И.А. Шиколенко

ДОСТИЖЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОХОЖДЕНИЯ ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗА СЧЕТ

V.A. Zavialov, V.A. Velichkin, R.S. Ulyanov, I.A. Shikolenko

OPTIMAL BIOLOGICAL PROCESSES DUE TO APPLICATION ILLUMINATION BASED ON

ПРИМЕНЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НА БАЗЕ АВТОМАТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ СИД

Ключевые слова: Концепция освещения, автоматическое управление, фотобиологические процессы, светодиод.

В статье рассмотрена возможность достижения оптимального прохождения фотобиологических процессов, за счет применения концепции освещения на базе автоматически управляемых светоизлучающих диодов (СИД). Представлено описание прототипа излучающего устройства. Приведены сравнительные характеристики различных источников излучения, сделаны выводы об актуальности применения описываемой концепции.

AUTOMATICALLY CONTROLS THE LED

Keywords: The concept of lighting, automatic control, photo-biological processes, the LED.

The possibility of achieving the optimum passage of photo-biological processes through the use of lighting concepts based on the automatically controlled LEDs. The description of the prototype of the emitting device. The comparative characteristics of different light sources. Based on the analysis, the conclusions are made about the relevance of the application of the described concept.

В.А. Завьялов, В.А. Величкин

КОМПЕНСАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ ДВИЖЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА

Ключевые слова: колебательные объекты управления, микропроцессорные управляющие устройства, законы регулирования, качество движения САУ.

В работе представлены результаты исследования системы с колебательным объектом управления и микропроцессорным управляющим устройством, реализующим пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон регулирования. Исследования показали, что при известной математической модели объекта управления и при соответствующей настройке управляющего устройства можно добиться требуемого качества движения системы автоматического управления (САУ).

V.A. Zavyalov, V.A. Velichkin

INDEMNIFICATION OF VIBRATIONS OF MOTION OF AUTOMATIC SYSTEMS BY MEANS OF MICROPROCESSOR DEVICE

Keywords: shake objects of management, microprocessor managing devices, adjusting laws, quality of motion of systems.

The results of research of the system are in-process presented with the shake object of management and microprocessor managing device realizing the PID law of adjusting. Researches showed that at the known mathematical model of management object and at the corresponding tuning of managing device it is possible to obtain the required quality of motion of the system of automatic management systems.

С.Н. Зайцев

РАЗРАБОТКА МЕТОДА МАЛЫХ ФЛЮЕНСОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ СВЕТОДИОДОВ

Ключевые слова: разработка метода, светодиод, фосфид галлия, сила света, доза (флюенс), константа повреждаемости времени жизни.

Исследована партия светодиодов из фосфида галлия до и после нейтронного облучения. Определена константа повреждаемости времени жизни. Разработан неразрушающий экспресс - метод оценки радиационной стойкости светодиодов при использовании малых флюенсов облучения на примере светодиодов из фосфида галлия (GaP).

S.N. Zaytsev

DEVELOPMENT OF A METHOD SMALL FLUENCES FOR MONITORING AND EVALUATION OF RADIATION RESISTANCE OF LEDs

Keywords: method development, LED, gallium phosphide, luminous intensity, dose (fluence), the constant damageability of the lifetime.

Investigated party of gallium phosphide LEDs before and after neutron irradiation. Defines the constant failure rate of the lifetime. Designed XRF - method of assessing radiation resistance of LEDs using low fluence irradiation example LEDs of gallium phosphide (GaP).

А.А. Захаров, А.Ю. Тужилкин

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН НА ОСНОВЕ СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

Ключевые слова: трехмерные сцены, видеоизображения, структурный подход, синтаксический анализ.

В работе рассматривается задача формирования структурного представления трехмерных сцен на

A.A. Zakharov, A.Y. Tuzhilkin

FORMATION OF STRUCTURAL REPRESENTATION OF THREE-DIMENSIONAL SCENES BASED PARSING VIDEO IMAGES

Keywords: three-dimensional scenes, video images, structural approach, parsing.

Task of forming a structural representation of three-dimensional scenes based on the video is presented in the work. Formation of structure based on a three-level representation of the scene. A Bayesian approach is used

основе видеоизображений. Формирование структуры основано на трехуровневом представлении сцены. При формировании структуры сцены используется байесовский подход. Приведен пример создания трехмерной структуры сцены.

the formation of the structure of the scene. Example of creating a three-dimensional structure of the scene is shown.

С.А. Зинкин, М.Е. Федосин, А.С. Федосин
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ И АППАРАТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ-ЦЕНТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГИКО-АЛГЕБРАИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

Ключевые слова: облачные вычисления, высокопроизводительные вычисления, учет ресурсов, логико-алгебраические модели представления знаний.

В статье приводится описание архитектуры программно-аппаратного комплекса «Веб-центра», предназначенного для организации доступа к программному обеспечению для высокопроизводительных вычислений и средствам разработки и тестирования в модели облачных вычислений. Описание базируется на аппарате логико-алгебраических моделей представления знаний и затрагивает различные аспекты соединения и взаимодействия компонентов системы.

S.A. Zinkin, M.E. Fedosin, A.S. Fedosin
DEVELOPMENT OF HARDWARE AND SOFTWARE ARCHITECTURE OF A WEB-CENTER USING LOGIC-ALGEBRAIC MODELS OF KNOWLEDGE REPRESENTATION

Keywords: cloud computing, high performance computing, resource accounting, logic-algebraic models of knowledge representation.

The article describes the architecture of hardware-software complex "Web center" designed to provide access to software for high-performance computing and software development and testing tools in the cloud computing paradigm. The description is based on the apparatus of logical-algebraic models of knowledge representation and affects various aspects of connection and interaction of the components of the system.

А.Н. Ивашкин, П.В. Борков
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК И ГРАНУЛОМЕТРИИ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Ключевые слова: декоративный бетон, отсев известняка, доменный шлак, гранулометрический состав.

В статье приведены результаты исследования свойств декоративных бетонов, полученных с использование химических добавок и заполнителей из отходов промышленности. Изучены составы бетонов на основе отсева дробления известняка, отсева дробления доменного шлака и кварцевого песка. Представлены данные инфракрасной спектроскопии поверхности декоративного бетона, окрашенного солями металлов.

A.N. Ivashkin, P.V. Borkov
INVESTIGATION OF DECORATIVE CONCRETE DEPENDING CHEMICAL ADDITIVES AND FILLERS FROM GRANULOMETRY TECHNOGENIC WASTE

Keywords: decorative concrete, gravel limestone, blast furnace slag, grain size.

The results of studies of the properties of decorative concrete obtained with the use of chemical additives and fillers from the waste industry. We have analyzed the concrete on the basis dropout crushing limestone screenings crushing blast furnace slag and silica sand. The data of infrared spectroscopy surface decorative concrete, painted metal salts.

Д.П. Ильященко
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНВЕРТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 1.0503(DIN, ГЕРМАНИЯ)

Ключевые слова: дуговая сварка, тип источника питания, свойства сварных соединений.

В работе рассмотрено влияние типа источника питания дуговой сварки (диодного выпрямителя ВД-306 и инвертора Nebula-315) на химический состав, микроструктуру, механические свойства сварных соединений из стали 1.0503(DIN, ГЕРМАНИЯ). Установлено, что тип источника питания сварки оказывает значительное влияние на химический состав и микроструктуру сварного шва, и механические свойства сварных соединений.

D.P. Il’yaschenko
INVESTIGATION OF INVERTER POWER SOURCE ARC WELDING ON THE PROPERTIES OF WELD JOINTS OF STEEL 1.0503 (DIN, GERMANY)

Keywords: arc welding power supply type, the properties of welded joints.

The paper considers the influence of the type of arc welding power source (diode rectifier VD-306 and inverter Nebula-315) on the chemical composition, microstructure and mechanical properties of welded joints of steel 1.0503 (DIN, Germany). Found that the welding power source type has a significant effect on the chemical composition and microstructure of the weld seam and the mechanical properties of welded joints.

А.О. Казакова
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗГИБА ТОНКОЙ ПЛАСТИНКИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ
Ключевые слова: изгиб тонких пластинок, полигармоническое уравнение, краевые задачи, МГЭ, математическое моделирование.

В работе предложен численный метод решения задач изгиба тонкой пластинки произвольной формы, основанный на разработанном ранее А.Г. Терентьевым и автором алгоритме решения краевых задач для полигармонических функций.

A.O. Kazakova
THE NUMERICAL MODELING OF THE ARBITRATY SHAPE THIN PLATE'S BENDING
Key words: thin plates bending, polyharmonic equation, boundary value problems, boundary elements method, mathematical modeling.

The numerical method of the solution of the thin arbitrary shape plate bending problems is suggested. In this work the numerical algorithm developed by A.G. Terentiev and the author for the solution of the boundary value problems for the polyharmonic equation is applied to the solving of these problems.

А.И. Калашников, Д.В. Моисеев, С.Г. Моисеева
О ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ В МИССИИ «РАДИОАСТРОН»
Ключевые слова: Эффективность миссии, планирование наблюдений, динамическое программирование, космический радиотелескоп.

В статье обсуждается возможность повышения эффективности миссии «РАДИОАСТРОН» за счет применения процедуры оптимального планирования наблюдений. Проанализированы проблемы, возникающие при решении задачи оптимального краткосрочного планирования наблюдений в миссии «РАДИОАСТРОН». Предложены пути их решения.

A.I. Kalashnikov, D.V. Moiseev, S.G. Moiseeva
THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE SHORT-RANGE PROCEDURE OBSERVATION PLANNING WITHIN THE "RADIOASTRON" MISSION BOUNDS
Keywords: scheduling, dynamic programming, space radio telescope.

This article is dedicated to the possibility of increasing the efficiency of the "RADIOASTRON" mission by optimal procedure of observation planning using. The optimal planning observation problems were analyzed. The ways of solution were taken.

В.В. Карманов, Н.В. Винокуров, А.Н. Волегов
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ПЛАСТИН ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1151АТ ТОЛЩИНОЙ 3 ММ
Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием, алюминиевые сплавы, 1151АТ, технология СТП, параметры СТП, инструмент для СТП.

Отработана технология сварки трением с перемешиванием пластин из сплава 1151АТ толщиной 3 мм. Исследован характер разрушения образцов. Исследована микроструктура и дефекты сварного соединения.

V.V. Karmanov, N.V. Vinokurov, A.N. Volegov
DEVELOPMENT OF FRICTION STIR WELDING TECHNOLOGY FOR PLATES OF HEAT RESISTANT ALUMINUM ALLOY 1151AT 3 MM THICK
Keywords: friction stir welding, aluminum alloys, 1151AT, FSW technology, FSW parameters, FSW tool.

The friction stir welding technology for plates of heat resistant aluminum alloy 1151AT 3 mm thick was developed. The destruction behavior of FSW samples was investigated. The microstructure and defects of the weld were studied.

Л.Л. Картовицкий, В.М. Левин, А.А. Яковлев
НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ НЕРАВНОВЕСНЫХ СТРУЙ В ПРОСТРАНСТВЕННОМ КАНАЛЕ
Ключевые слова: канал, смешение, струя, вдув, трехмерное моделирование, ANSYS CFX.

Обсуждается вариант подхода к решению проблемы повышения эффективности систем смесеобразования в каналах камер сгорания на уровне концепции. Трехмерное моделирование подтверждает правильность предложенного технического решения.

L.L. Kartovitsky, V.M. Levin, A.A. Yakovlev
SOME RESULTS OF OPTIMIZATION OF MIXING NONEQUILIBRIUM JETS IN SPATIAL CHANNELS
Keywords: channel mixing, jet, blowing, three-dimensional modeling, ANSYS CFX.

Discusses the option approach to solving the problem of increasing the effectiveness of mixing in the channels of the combustion chambers at conception. Three-dimensional modeling confirms the correctness of the proposed technical solutions.

А.И. Каяшев, Т.В. Сазонова, В.Р. Сабанчин, В.А. Суликова
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОМЕРНОГО ЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ С ИНТЕРВАЛЬНОЙ

A.I. Kayashev, T.V. Sazonova, V.R. Sabanchin, V.A. Sulikova
STABILITY OF MULTIVARIATE CLEAR TEMPERATURE CONTROLLER WITH INTERVAL UNCERTAINTY MANAGEMENT SYSTEM

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКАМИ ТЕРМООБРАБОТКИ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: Четкий регулятор, устойчивость системы, установки термообработки стройматериалов.

В работе представлены результаты изучения устойчивости многомерного четкого регулятора с интервальной неопределенностью.

MATERIALS HEAT SETTINGS

Keywords: Clear control, system stability, thermal treatment plants construction materials.

The results of the study of the stability of the regulator with a clear multi-dimensional interval uncertainty.

А.Ф. Керножитская, Т.В. Германова

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ АВТОТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К АВТОМАГИСТРАЛЯМ

Ключевые слова: атмосферный воздух, выхлопные газы, транспортные потоки, магистральные улицы, планировка города, красная линия.

Представлены результаты позволяющие оценить существующий уровень химического воздействия автотранспорта на конкретной территории. Обоснована необходимость использования этих данных для создания единой информационной базы при принятии планировочных решений как наиболее правильных и обеспечивающих последовательное улучшение условий жизни на городской территории (на примере Тюмени).

A.F. Kernozhitskaya, T.V. Germanova

ASSESSMENT OF CHEMICAL POLLUTION FROM MOTOR TRANSPORT IN THE TERRITORIES ADJACENT TO HIGHWAYS

Keywords: air, exhaust gases, traffic flows, main streets, town planning, red line.

Presented the results to assess the existing level of chemical exposure of vehicles in a particular area. The necessity of using this data to create a common information base when making planning decisions as the most correct and provide a consistent improvement of living conditions in urban areas (for example, Tyumen).

В.И. Классен, Ю.Е. Седельников

АНТЕННЫ Ka ДИАПАЗОНА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ЧАСТЬ 1. ПЕЧАТНЫЕ АНТЕННЫ

Ключевые слова: антенны Ka диапазона, диэлектрический волновод, антенна поверхностных волн, печатные антенны.

В работе в обзорной форме представлены результаты разработки новых типов антенн миллиметровых волн, основанных на использовании принципа возбуждения элементов решетки диэлектрическими волноводами и обладающих расширенными функциональными возможностями. Внимание акцентировано на создание на указанной основе плоских печатных антенн

V.I. Klassen, Yu.E. Sedelnikov

Ka BAND ANTENNAS FOR PROMISSING MEANS OF TELECOMMUNICATION. PART 1. PRINTED ANTENNAS

Keywords: Ka band antenna, a dielectric waveguide antennas, surface waves, planar antennas, printed antennas.

This paper in a survey form presents the results of new types of millimeter wave antennas of enhanced functionality which based on the use of the principle of antenna elements excitation by dielectric waveguides. Puts more emphasis on the creation on the basis of this planar printed antennas.

В.И. Классен, Ю.Е. Седельников

АНТЕННЫ Ku ДИАПАЗОНА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ. ЧАСТЬ 2 АНТЕННЫ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Ключевые слова: антенны Ku диапазона, диэлектрический волновод, антенна поверхностных волн, двухлучевые антенны, управляемая поляризация.

В работе в обзорной форме представлены результаты разработки новых типов антенн миллиметровых волн, основанных на использовании принципа возбуждения элементов решетки диэлектрическими волноводами и обладающих расширенными функциональными возможностями.

V.I. Klassen, Yu.E. Sedelnikov

Ku BAND ANTENNAS FOR PROMISSING MEANS OF TELECOMMUNICATION. PART 2. ANTENNAS WITH ENCHANCED FUNCTIONALITY

Keywords: Ku band antenna, a dielectric waveguide antennas, surface waves, double-beam antenna, controlled polarization.

This paper in a survey form presents the results of new types of millimeter wave antennas of enhanced functionality which based on the use of the principle of antenna elements excitation by dielectric waveguides. Puts more emphasis on the creation on the basis of this two-beam antennas and antenna of controlled polarization.

Внимание акцентировано на создание на указанной основе двухлучевых антенн и антенн с управляемой поляризацией.

А.К. Клочко, А.Р. Клочко, Г.Р. Арутюнян
О ВАЖНОСТИ НЕДОПУЩЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД
Ключевые слова: централизованная система теплоснабжения, система отопления, отопительный период, показатель комфортности, условия климатического комфорта, охлаждение помещений.

Рассматриваются вопросы климатического комфорта пребывания человека при охлаждении помещений, отапливаемых от систем централизованного теплоснабжения в осенний период года.

A.K. Klochko, A.R. Klochko, G.R. Arutyunyan
THE IMPORTANCE OF ROOMS COOLING PREVENTION DURING THE AUTUMN PERIOD
Keywords: the centralized system of a heat supply, heating system, the heating period, indicator of comfort, condition of climatic comfort, cooling of rooms.

Questions of human climatic comfort are considered when cooling the rooms, heated from systems of the centralized heat supply during the autumn period of year.

А.К. Клочко, А.Р. Клочко, Г.Р. Арутюнян
КРИТЕРИЙ ВЫБОРА СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПАРЫ АБОНЕНТОВ К ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ МАГИСТРАЛИ
Ключевые слова: система газораспределения, магистральный газопровод, конфигурация газораспределительной сети, точки Штейнера.

В данной статье получен критерий выбора схемы подключения пары абонентов расположенных по одну сторону от газораспределительной магистрали, позволяющий получать наиболее выгодное решение с точки зрения суммарной протяженности сети.

A.K. Klochko, A.R. Klochko, G.R. Arutyunyan
CRITERION OF THE CONNECTION SCHEME CHOICE OF SUBSCRIBERS PAIR COUPLE OF TO THE GAS-DISTRIBUTING PIPE LINE
Keywords: gas distribution system, main gas pipeline, configuration of a gas-distributing net, Steiner's point.

In this article the criterion of a connection scheme choice of subscribers pair couple is received, located on one side from the gas-distributing pipe line, allowing to receive the most favorable decision from the point of total extent view of a net.

Г.Е. Кокиева
СОСТОЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Ключевые слова и фразы: Ферментатор, культивирование микроорганизмов, износ рабочих элементов ферментаторов, дефекты.

В статье описывается основа биотехнологического процесса, а именно технология и способы измерения рабочих поверхностей при дефектации аппаратов для культивирования микроорганизмов. Рассматривается ферментатор, предназначенный для культивирования микроорганизмов. Повышенный износ рабочих элементов которых, является одной из главных причин резкого снижения производительности.

G.E. Kokieva
STATE OF DEFORMATION OF PARTS OF COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS
Key words: fermenter, cultivation of microorganism, wear out of work items fermenters, defects.

The article describes the basis for the biotechnological process, namely technology and methods of measurement of work surfaces while inspecting vehicles for the cultivation of microorganisms. fermenter treated, intended for the cultivation of microorganisms. increased wear of the elements, which is one of the main reasons for the sharp decrease.

Е.В. Котельников
СТРУКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДСМ-СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ
Ключевые слова: ДСМ-метод, интеллектуальные системы, анализ тональности.

В статье предложена структура интеллектуальной системы анализа тональности текстов на основе ДСМ-метода автоматического порождения гипотез. Структура включает набор блоков, реализующих как традиционные для ДСМ-метода процедуры – индукцию, аналогию и абдукцию, так и процедуры, специфические для обработки текстов – морфологический анализ и кластеризацию.

E.V. Kotelnikov
THE STRUCTURE OF THE INTELLIGENT JSM-SYSTEM FOR TEXT SENTIMENT ANALYSIS
Keywords: *JSM-method, intelligent systems, sentiment analysis*.

In this paper the structure of the intelligent system for the text sentiment analysis based on the JSM-method of automated hypothesis generation is proposed. The structure consists of both traditional JSM-procedures such as the induction, the analogy and the abduction, and specific text processing procedures such as morphological analysis and clustering. The proposed structure can be adapted for other tasks of text classification.

Предложенная структура может быть адаптирована для решения других задач текстовой классификации.

Е.Ф. Кузнецова, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, Г.М. Соболев, М.А. Григорьев
ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛИТЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ КАМНЕОБРАБОТКИ
Ключевые слова: оптимизация и прогнозирование свойств, эффективные литые бетоны, местные материалы, отходы камнеобработки, математические модели.

Оптимизация и прогнозирование свойств строительных материалов представляет собой один из наиболее актуальных вопросов, решение которого позволит получить эффективные изделия и конструкции, с учетом заданных параметров и характеристик. Основой для получения эффективных литых бетонных смесей и бетонов с заданными свойствами является рациональный подбор состава на основе математических зависимостей определенных для конкретных материалов.

E.F. Kuznetsova, L.A. Alimov, V.V. Voronin, G.M. Sobolev, M.A. Grigoriev
THE OPTIMIZATION AND PREDICTION OF PROPERTIES OF CAST CONCRETE WITH STONE PROCESSING WASTES UTILIZATION
Key words: the optimization and prediction of properties, effective cast concrete, local building materials, stone processing wastes, mathematical models.

The optimization and prediction of building materials properties is one of the most actual issues nowadays. The solution of this question will allow to provide efficient products and constructions with necessary parameters and characteristics. The basis of getting the effective cast concrete mixes and concretes with specified properties is a rational mixture design based on mathematical dependencies defined for specific materials.

П.В. Ликин, Д.А. Ляхманов, Э.С. Соколова
РЕАЛИЗАЦИЯ ПАКЕТНОГО ФИЛЬТРА В КОНТРОЛЛЕРЕ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ
Ключевые слова: программно-конфигурируемы сети, брандмауэр, пакетный фильтр.

Исследуется возможность реализации пакетного фильтра в программно-конфигурируемых сетях (ПКС), содержащего простую логику по фильтрации пакетов. Проведена аналогия с классическими сетями и выявлены преимущества ПКС. Представлен результат работы прототипа, реализующего описанную логику.

P.V. Likin, D.A. Lyahmanov, E.S. Sokolova
PACKET FILTERING FUNCTIONALITY IMPLEMENTATION IN SOFTWARE-DEFINED NETWORKS
Keywords: software-defined networking, firewall, packet filtering.

The paper contains the results of the implementation of a simple packet filtering logic in the software-defined networks (SDN) and describes the comparison of classic networks and SDN.

Т.В. Мальцева, А.В. Черных
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОУПРУГОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ СВАИ
Ключевые слова: вязкоупругость, механическая характеристика, метод ломаных, принцип Вольтерры, точки коллокаций.

В статье предложена методика определения вязкоупругой механической характеристики песчаной армированной сваи. Данная методика основана на линейной наследственной теории вязкоупругости.

T.V. Maltseva, A.V. Chernykh
DEFINITION OF THE VISCOELASTIC MECHANICAL CHARACTERISTIC OF THE SANDY REINFORCED PILE
Key words: viscoelasticity, mechanical characteristic, method of broken lines, Volterra's principle, points of collocations.

The technique of definition of the viscoelastic mechanical characteristic of the sandy reinforced pile is offered in the article. The technique is based on the linear hereditary theory of viscoelasticity is offered.

М.В. Мартынюк, Д.В. Зырин, А.Б. Лоскутов, А.А. Лоскутов
ОЦЕНКА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ СЕТИ
Ключевые слова: равномерно распределённая гексагональная сеть, преобразование треугольник-звезда, ток короткого замыкания.

M.V. Martinuk, D.V. Zirin, A.B. Loskutov, A.A. Loskutov
ESTIMATING OF THE SHORT-CIRCUIT CURRENTS OF THE UNIFORMLY DISTRIBUTED HEXAGONAL GRID
Keywords: uniformly distributed hexagonal net, Y-Δ transform, short-circuit current.

This article is about the method of approximate

Описан метод приближённого расчёта максимального значения периодической составляющей тока короткого замыкания для сложной линейной электрической цепи с гексагональной структурой

calculation of the maximum value of the periodic component of the short-circuit current for hexagonal composite electric circuit.

Е.В. Мехоношина, В.Я. Модорский, А.В. Козлова, Д.Ф. Гайнутдинова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ И ДАВЛЕНИЯ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ КАВИТАЦИИ

Ключевые слова: кавитация, колебания, взаимодействие в динамической системе «жидкость-подвижная стенка».

В статье представлены результаты численного моделирования в CAE системе кавитационных явлений, возникающих при высоком давлении при встречном движении поршней в замкнутой трубе, заполненной жидкостью. Дополнены физическая и математическая модели в трехмерной динамической постановке. Выявлена область возникновения кавитации в зависимости от параметров колебаний.

E.V. Mekhanoshina, V.Ya. Modorsky, A.V. Kozlova, D.F. Gainutdinova

STUDY OF INFLUENCE VIBRATION AND PRESSURE ON CAVITATION

Keywords: cavitation, vibration, interaction in a dynamical system "liquid-movable wall."

This article presents the results of numerical modeling in CAE system of cavitation phenomena occurring at high pressure in a closed tube filled with liquid with a moving piston. Supplemented by physical and mathematical models in three-dimensional dynamic formulation. Spotted an area of cavitation depends on oscillation parameters.

В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ РДТТ

Ключевые слова: акустические трансформаторы, колебательные процессы, коэффициент усиления, волновод, вычислительный эксперимент.

В работе представлены результаты исследований колебательных процессов в элементах конструкции РДТТ, которые можно рассматривать как акустические трансформаторы. В рамках вычислительного эксперимента исследуются процессы, протекающие в акустических трансформаторах и численно определяются коэффициенты усиления при различных геометрических и физико-механических характеристиках волноводов. Рассмотрены влияние параметров акустических трансформаторов на коэффициент усиления колебаний.

V.Ya. Modorsky, A.F. Shmakov

MODELING OF OSCILLATORY PROCESSES IN STRUCTURAL ELEMENTS SRBS

Keywords: acoustic transformers, oscillatory process, amplification factor, waveguide, computational experiment.

The article presents the results of investigations of oscillatory processes in structural elements SRBs which can be regarded as acoustic transformers. In a computational experiment processes is investigated proceeding in acoustic transformers. Amplification factor of oscillatory process is determined with different geometric and physicomechanical characteristics of waveguides. Examined the influence of parameters on the acoustic transformer gain fluctuations.

В.Л. Мондрус, Д.К. Сизов

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНОГО МЕТОДА ПРИ РАСЧЕТЕ ПЛАСТИНКИ С ОТВЕРСТИЯМИ

Ключевые слова: вариационно-разностный метод, численная реализация, пластинка с отверстиями.

В работе представлены результаты расчета вариационно-разностным методом прямоугольной пластинки с учетом наличия в ней отверстий круглой формы.

V.L. Mondrus, D.K. Sizov

FEATURES NUMERICAL PERFORMANCE OF VARITIONAL-DIFFERENCE METHOD IN CALCULATING THE PLATE WITH HOLES

Keywords: variational-difference method, numerical implementation, and the plate with holes.

The results of the calculation of the variational-difference method rectangular plate with the presence of holes in it a round shape.

П.С. Мочалов, С.Н. Калашников

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И КОМПЛЕКСОВ В 3D – ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕДАХ

Ключевые слова: математическая модель, 3D виртуальная среда, технологический процесс.

В работе рассмотрены этапы математического

P.S. Mochalov, S.N. Kalashnikov

MATHEMATICAL MODELING OF TECHNOLOGY PROCESS SIMULATION AND COMPLEXES IN 3D - VIRTUAL ENVIRONMENTS

Keywords: mathematical model, 3D virtual environment, technology process.

The paper discusses the stages of mathematical modeling

моделирования применительно к созданию 3D виртуальных сред технологических процессов и комплексов.

as applied to the creation of 3D virtual environments processes and systems.

Д.А. Муслимов, А.С. Лелюхин, М.В. Назаров
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА МИНИМИЗАЦИИ НАПРАВЛЕННОГО РАСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРА ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО КРИВОЙ ОСЛАБЛЕНИЯ

Ключевые слова: спектр тормозного (рентгеновского) излучения, метод минимизации направленного расхождения, кривая ослабления излучения.

В работе описан комплекс программных модулей для системы математического моделирования MathCAD, обеспечивающий восстановление спектра тормозного излучения по экспериментальным и расчетным данным, отражающим характер ослабления тормозного излучения в веществе линейного GaAs – детектора. Приводятся результаты моделирования, иллюстрирующие работу комплекса.

D.A. Muslimov, A.S. Lelyukhin, M.V. Nazarov
IMPLEMENTATION OF THE MINIMIZATION DIRECTED DIVERGENCE METHOD FOR RECONSTRUCTION OF X-RAY SPECTRA FROM MEASUREMENTS OF ATTENUATION

The Keywords: X-ray spectrum, minimization directed divergence method, attenuation curve.

Complex of the programmer modules MathCAD for reconstruction of X-ray spectrum from measurements of attenuation is described in work. The Calculation is executed on experimental and accounting attenuation curve x-ray radiation in material linear GaAs - detector. The Presented results of modeling.

Я.Е. Немирович, И.А. Анисимов
ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Ключевые слова: безопасность, ДТП, пешеход, пешеходный переход.

В статье представлены результаты исследования зависимости количества наездов на пешеходов при движении автомобиля по прямой от геометрических параметров расположения пешеходных переходов и предложены пути снижения аварийности на обследованных нерегулируемых пешеходных переходах.

Y.E. Nemirovich, I.A. Anisimov
RATIONALE FOR THE SELECTION OF CROSSWALKS EQUIPMENT

Keywords: road safety, accident, pedestrian, crosswalk.

This article shows the results of road geometry studying and the dependency between road geometry and accidents rate involving pedestrians. Use of obtained dependency can help to reduce this rate on examined crossings.

М.А. Николаев, А.Г. Юферов
АЛГОРИТМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВАРИАНТНЫХ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ

Ключевые слова: нумерующие функции, планирование вычислительного эксперимента, вариантные расчёты.

Описывается применение техники нумерующих функций для генерации наборов исходных данных и сканирования пространства проектных переменных при выполнении вариантных проектных расчетов.

M.A. Nikolaev, A.G. Yuferov
ALGORITHMS FOR THE ORGANIZATION OF VARIANT DESIGN CALCULATIONS

Keywords: numbering function, computational experiment planning, variants calculations.

The use of the numbering functions technology for the generation of sets of initial data and the scan space of design variables in the design variants calculations is described.

А.А. Орлов, А.В. Астафьев
МЕТОД ОБЪЕДИНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ СИМВОЛЬНЫХ МАРКИРОВОК

В статье показана актуальность разработки метода объединения результатов алгоритмов цифровой локализации символьных маркировок. Представлен обзор методов нанесения символьных маркировок в условиях реального производства. Разработана математическая модель изображения символьной маркировки. Спроектирована общая структура результатов работы алгоритмов локализации. Разработан метод объединения результатов алгоритмов цифровой локализации символьных

A.A. Orlov, A.V. Astafiev
METHOD OF COMBINING THE RESULTS OF LOCALIZATION ALGORITHMS OF DIGITAL CHARACTER LABELS

In the article the urgency of development of the method of combining the results of localization algorithms of digital character labels. The mathematical model of the image of the symbolic marking. Designed, the overall results framework of the algorithms for the localization. Developed a method of combining the results of localization algorithms of digital character labels. Experimental studies have confirmed the adequacy of the model and the method of combining the results of localization algorithms of digital character labels.

маркировок. Проведены экспериментальные исследования, подтвердившие адекватность разработанной модели и метода объединения результатов алгоритмов цифровой локализации символьных маркировок.

Е.В. Равковская, В.О. Каледин
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЛОКОНАНИЗОГРИДНОЙ СЕТЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ
Ключевые слова: анизогридные сетчатые конструкции, метод конечных элементов, композитные материалы, микроструктурные напряжения.

В работе обосновывается выбор идеализации расчетной области в виде совокупности однородного связующего и системы армирующих волокон, которые работают на растяжение и сжатие. Представлены результаты двухфакторного вычислительного эксперимента для оценки степени влияния физических размеров анизогридной сетчатой конструкции. Были проведены оценки степени влияния искривления волокна и толщины монослоя на напряжения, возникающие в конструкции, дана оценка степени влияния асимметриии и объемного содержания волокна на микроструктурные напряжения.

E.V. Ravkovskaya, V.O. Kaledin
ASSESSMENT PARAMETERS STRESS-STRAIN STATE FIBER ANISOGRID MESH STRUCTURES
Keywords: anisogrid mesh structure, finite element method, composite materials, microstructural stress.

The paper considers the rationale choice of idealization of the computational domain as a set of homogeneous binder system and reinforcing fibers that work in tension and compression. Presented the results of two-factor computing experiment to assess the degree of influence of the physical dimensions of anisogrid mesh structures. Estimates were made of the degree of influence of fiber curvature and thickness of the monolayer on the stresses in the structure, evaluating the degree of asymmetry and the influence of fiber volume content on microstructural stress.

М.А. Ромашкин
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Ключевые слова: информационная модель, поршневой компрессор, информационная поддержка, техническое обслуживание.

В статье представлены результаты разработки информационной модели для информационной поддержки поршневого компрессорного оборудования, указаны требования и характеристики, которым должна удовлетворять модель. Модель может быть использована для решения задач различных этапов жизненного цикла компрессора. Использование модели позволит создать предпосылки для непрерывной информационной поддержки поршневых компрессоров.

M.A. Romashkin
DEVELOPMENT OF INFORMATION MODEL PISTON COMPRESSOR EQUIPMENT
Keywords: information model, piston compressor, information support, maintenance.

The paper presents the results of the development of the information model for information support of the piston compressor equipment, specify the requirements and specifications to be met by the model. The model can be used to solve problems in different stages of the life cycle of the compressor. Using the model to create the prerequisites for continuous information support of piston compressors.

М.Ю. Сартасова
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ДЛЯ РАСЧЕТА ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
Ключевые слова: математическое и численное моделирование, наносекундный импульс.

Рассматривается модель, основанная на численном решении интегрального уравнения в пространственно-временном представлении относительно неизвестной функции распределения токов. В качестве исходных используются решения волновых уравнений для потенциалов и полей. Численный расчет поля излучения производится методом аппроксимации тетракубическими сплайнами. Для построенной

M.Y. Sartasova
MATHEMATICAL MODEL AND ALGORITHM FOR CALCULATING PULSED ELECTROMAGNETIC FIELD
Keywords: mathematical and numerical modeling, nanosecond pulse.

The results of simulation of pulsed electromagnetic field generated by a nanosecond pulsed discharge. The model is based on the numerical solution of the integral equation in the space-time representation for the unknown function of the current distribution. Used as initial solutions of wave equations for the potentials and fields. Parameters of the current wave are calculated based on the properties of the transmitter and fed to the

модели разработан алгоритм.

emitter of the voltage pulse. Numerical calculation of the radiation field produced by the approximation tetrakubicheskimi splines.
To build a model developed algorithm using parallel computing for modeling pulsed electromagnetic field generated by a nanosecond pulse, obtained results of computational experiments.

В.В. Севастьянов
МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛА ГЕРМЕТИЗАЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА
Ключевые слова: центробежный компрессор, газовое торцовое уплотнение, масляное торцовое уплотнение, критическая скорость вращения, сжимаемость, герметичность.

Проведен расчет газодинамических параметров спиральной канавки газового бесконтактного уплотнения. Определены критические скорости вращения, вследствие изменения габаритно-массовых характеристик ротора.

V.V. Sevastiyanov
MODELLING ASSEMBLY SEALING OF CENTRIFUGAL COMPRESSOR
Keywords: centrifugal compressor, gas mechanical seal, mechanical seal oil, critical rotation speed, compressibility, leakproofness.

The calculation was conducted of gas dynamic parameters of the spiral groove gas contactless seal. The critical rotation speeds were defined, due to changes in the dimensions and mass characteristics of the rotor.

С.А. Семенов
РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ГРАФИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЯХ
Ключевые слова: Параллельные вычисления, графические процессоры, молекулярно-динамическое моделирование, наноматериалы, углеродные наноструктуры.

Правильное конфигурирование вычислительных потоков на видеокарте дает многократный прирост производительности. Необходимо распределять данные определенным образом для того, чтобы потоки исполнялись параллельно. Прямое вычисление потенциала многочастичного взаимодействия не всегда позволяет эффективно использовать графические вычислительные ресурсы. Сочетание техник молекулярной динамики позволяет достичь ускорения работы программы моделирования наносистем.

S.A. Semenov
USING OF COMPLEX MOLECULAR DYNAMIC TECHNIQUE FOR EFFICIENT IMPLEMENTATION OF HARDWARE GRAPHICAL RESOURCES
Keywords: Parallel computing, graphical processors, molecular dynamic modeling, carbon nanostructures.

Proper configuration of processing threads on the graphics card provides multiple performance gains. It is necessary to distribute data in a certain way for the threads to execute in parallel. A direct calculation of molecular potential does not always provide an efficient implementation of hardware resources. The combination of molecular dynamics techniques can achieve the acceleration of the program of nanosystems' simulation.

А.А. Симоненко
ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИЗКОЧАСТОТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ
Ключевые слова: плотность древесины; акустический контроль; низкочастотные ультразвуковые измерения; экспорт лесоматериалов; частота собственных колебаний.

В статье рассматривается способ построения градуировочных зависимостей между плотностью древесины и приведенной скоростью распространения акустических волн для различных пород древесины с оценкой погрешности определения плотности лесоматериалов с применением низкочастотного акустического метода свободных колебаний на примере сосны. Метод разработан в ходе работ по

A.A. Simonenko
CONSTRACTING CALIBRATION DEPENDENCE FOR DIFFERENT TYPES OF WOOD USING LOW-FREQUENCY ACOUSTIC METHOD OF FREE OSCILLATIONS
In this article considered a method of constructing calibration curves between the density of the wood and the superficial velocity of propagation of acoustic waves for different types of wood with an estimate of the error in determining the density of wood with the use of low-frequency acoustic method of free oscillations of the example of pine. The method was developed in the course of work on methods to determine the wood density measurements, realized as a result of research and development work. The main purpose of these techniques - it's an improvement, acceleration and facilitation of customs operations in the implementation of the control functions.

созданию методик измерений определения плотности древесины, реализованных в результате научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Главное назначение подобных методик - это усовершенствование, ускорение и облегчение таможенных операций в ходе выполнения контрольных функций.

Э.С. Соколова, Д.В. Дмитриев, А.И. Пашковский
МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МНОГОРЕЖИМНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВ СОСТОЯНИЙ

Ключевые слова: многорежимный объект, система управления, граф состояний, коэффициент готовности, контрольная точка.

Предлагается подход к решению проблемы эффективной организации системы диагностирования сложных многофункциональных объектов, включающий вопросы оптимизации контролепригодности, периодичности контроля, сочетания встроенной и внешней диагностики.

E.S. Sokolova, D.V. Dmitriev, A.I. Pashkovsky
OPTIMIZATION OF METHODS FOR DIAGNOSING MULTIMODE OBJECTS WITH STATE GRAPHS USING

Keywords: multi-mode object, management system, state graph, availability factor, the control point.

This paper presents the approach of solving the problem diagnosis of complex multifunctional objects efficient organization, including questions of testability optimization, frequency control and combination of internal and external diagnostics.

Э.С. Соколова, С.Н. Капранов, Т.И. Балашова
ПОИСК ПОЛНОГО МНОЖЕСТВА МИНИМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Ключевые слова: надежность сети, минимальный разрез сети, алгоритм Штор-Вагнера.

Предлагается количественная оценка надежности сети, учитывающая вероятности отказов каналов связи и топологию сети. Показано, что наибольшее влияние на надежность оказывают минимальные разрезы граф-модели сети. Разработан алгоритм поиска полного множества минимальных разрезов сети, основанный на алгоритме Штор-Вагнера.

E.S. Sokolova, S.N. Kapranov, T.I. Balashova
SEARCH THE COMPLETE SET OF MINIMUM CUTS IN DATA NETWORKS

Key words: network reliability, minimal cuts of network, Stoer-Wagner algorithm.

The quantitative assessment of a network reliability considering the failure probability of communication links and network topology is proposed. It is shown that the minimal cuts of graph model have the greatest impact on reliability. The search algorithm for the complete set of minimum cuts of network based on Stoer-Wagner algorithm is developed.

А.М. Станкевич
ТИПОВАЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, авиационная техника, типовая эксплуатационно-техническая документация.

В статье представлен анализ типовой эксплуатационно-технической документации, на основании чего выделяются данные, которые должны поддерживаться в актуальном состоянии с целью обеспечения решения задач планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту авиационной техники.

A.M. Stankevich
MANUFACTURER'S DOCUMENTATION FOR AIRCRAFT MAINTENANCE AS A BASIS TO SOLVE MAINTENANCE, REPAIR AND OVERHAUL SCHEDULING PROBLEMS

Keywords: maintenance repair and overhaul, aviation technology, manufacturer's documentation for aircraft maintenance.

This article presents the analysis a manufacturer's documentation for aircraft maintenance as a basis to solve maintenance, repair and overhaul scheduling problems.

В.А. Столярчук
КОНЦЕПЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МКЭ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Ключевые слова: CAE-система, алгоритмы метода конечных элементов, открытое программное

V.A. Stolyarchuk
THE CONCEPT OF EDUCATIONAL SOFTWARE THE FINITE ELTMENT COMPLEX BASED ON UNIVERSAL SYSTEM OF DATA PROCESSING

Keywords: CAE, Finite Element Procedures, Open Source Software.

обеспечение.

В работе представлено описание концепции реализуемой открытой учебной программной системы для подготовки разработчиков CAE – приложений.

The objective of work is to acquaint the developers of CAE applications with open CAE-system.

А.Х. Тазмеев
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ПЛАЗМЫ С ЖИДКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Ключевые слова: генератор плазмы, асинхронный электродвигатель, частотный преобразователь, программируемый контроллер.

В работе представлен новый способ, позволяющий усовершенствовать систему управления генератора плазмы с жидкими электродами при помощи частотного регулирования электропривода насоса.

A.Kh. Tazmeev
IMPROVING THE MANAGEMENT SYSTEM OF THE PLASMA GENERATOR WITH LIQUID ELECTRODES

Keywords: plasma generator, liquid electrodes, frequency regulation, programmable controller.

The paper describes a new way to improving management of the plasma generator with liquid electrodes by using a variable frequency drive of the electric pump.

А.А. Ташкинов, И.А. Арбузов, П.В. Писарев, В.Я. Модорский, Р.В. Бульбович, Д.В. Щенятский, Б.Е. Кириевский
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧИСЛА ЛОПАТОК РАБОЧИХ КОЛЕС НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Ключевые слова: колебательные процессы, число лопаток рабочих колес, центробежный насос.

В рамках данной работы проводиться исследование влияния числа лопаток рабочих колес первой и второй ступеней центробежного насоса на колебательные процессы. Выявлен рост интесивности колебательных процессов в 1,6 в районе второй ступени при увеличении числа лопаток первой ступени с 11 до 13.

A.A. Tashkinov, I.A. Arbuzov, P.V. Pisarev, V.Ya. Modorskiy, R.V. Bulbovich, D.V. Shchenyatskiy, B.E. Kiriyevskiy
INFLUENCE OF THE NUMBER OF IMPELLER BLADES ON OSCILLATORY PROCESSES

Keywords: pressure pulsation, a two-stage centrifugal pump, numerical modeling, resonance effects, the influence of the number of blades.

In this work, carried out research of influence of the number of impeller blades of the first and second stages of the centrifugal pump on oscillatory processes. Diagnosed growth intensity oscillation processes in the area of the second stage of increasing the number of blades of the first stage from 11 to 13.

А.А. Ташкинов, И.А. Арбузов, П.В. Писарев, В.Я. Модорский, Р.В. Бульбович, Д.В. Щенятский, Б.Е. Кириевский
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИИ В ЛАБИРИНТНОМ УПЛОТНЕНИИ

Ключевые слова: кавитационные процессы, лабиринтные уплотнения, двухступенчатый центробежный насос.

Работа посвящена изучению влияния рабочих параметров на кавитационные процессы в лабиринтных уплотнениях двухступенчатого центробежного насоса.
В работе разработаны твердотельные, математические и физические модели, выявлены кавитационные эффекты в лабиринтных уплотнениях, сформулированы рекомендации по уменьшению их интенсивности.

A.A. Tashkinov, I.A. Arbuzov, P.V. Pisarev, V.Ya. Modorskiy, R.V. Bulbovich, D.V. Shchenyatskiy, B.E. Kiriyevskiy
NUMERICAL MODELING OF CAVITATION IN THE LABYRINTH SEALS

Keywords: cavitation processes, labyrinth seals, a two-stage centrifugal pump.

Work is devoted to study of influence of operating parameters on the cavitation processes in the labyrinth seals two-stage centrifugal pump. The authors developed solid-state, mathematical and physical models, identified cavitation effects in the labyrinth seals, formulated recommendations on how to reduce their intensity.

О.П. Тимофеева, М.В. Мартынюк, М.А. Степаненко
БИКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТА НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ Н. НОВГОРОДА

Ключевые слова: бикритериальная оптимизация, граф транспортной сети, списки смежности, свёртка.

Рассматривается решение проблемы поиска

O.P. Timofeeva, M.V. Martinuk, M.A. Stepanenko
BICRITERIAL PROBLEM OF THE LEAST-COST ROUTING ILLUSTRATED BY THE TRANSPORT NETWORK OF THE NIZHNY NOVGOROD

Keywords: bicriterial optimization, transport network graph, adjacency lists, convolution.

The paper gives a method of problem of the least-cost

маршрута оптимального с точки зрения расстояния и времени на графе транспортной сети. Задача сводится к однокритериальной путём вычисления линейной свёртки нормализованных критериев.

routing solving optimal by time and distance. The problem are reduced to one-criterion problem by convolution normalized criteria.

О.А. Трояножко, И.Д. Колесин
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫБОРА ВИДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ РАНЖИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

Ключевые слова: выбор признаков, классификация, математическая диагностика, рак груди.

Исследуется вопрос о влиянии вида распределения на точность ранжирования диагностических признаков. Сравниваются распределения Гаусса и Лапласа. Исследование проводится на известной базе данных по онкологии. Показывается, что порядок следования признаков по рангу не нарушается в части наиболее информативных признаков, а в части мало информативных появляются отдельные сбои. Дается объяснение обнаруженного факта.

O.A. Troyanozhko, I.D. Kolesin
ANALYSIS OF INFLUENCE OF PROBABILITY DISTRIBUTION TYPE ON ACCURACY OF DIAGNOSTIC FEATURES RANKING

Keywords: breast cancer, classification, feature selection, mathematical diagnostics.

The problem of influence of probability distribution type on accuracy of diagnostic features ranking is examined. Gauss and Laplace distributions are compared. Investigation is carried out on the oncology data base. It is shown that the features' sequence order is not broken in the part of most informative features but there are some irregularities in the part of less informative features. The explanation of discovered fact is proposed.

П.В. Трусов, Н.С. Кондратьев, В.В. Карманов, А.С. Нуртдинов
РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ТРЕНИЯ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием, прочностные свойства, прочность, температура, тепловизионный комплекс.

Сформулирована в общем виде математическая постановка трехмерной термоупругопластической нестационарной квазистатической контактной задачи, данная постановка конкретизирована с учетом принятых на этапе концептуальной постановки гипотез. Приведены соотношения для определения контактной границы и условий на ней, а также все граничные условия для различных этапов техпроцесса. Проведены термовизионные исследования сварки на образцах алюминиевого сплава марки АД-31 толщиной 3мм, подтверждающие математическую модель.

P.V. Trusov, N.S. Kondratjev, V.V. Karmanov, A.S. Nurtdinov
DEVELOPMENT AND TESTING OF MATHEMATICAL MODELS OF PROCESSES WELDING BY FRICTION STIR OF ALUMINUM ALLOYS

Keywords: friction stir welding, mechanical properties, strength, temperature, thermal complex.

Mathematical formulation of the three-dimensional transient thermal elasticoplastic quasi-static contact problem is formulated in a general form. This statement is concretized in view of the phase conceptual formulation of hypotheses. Relations are given for the determination of the its contact boundary and for all the boundary conditions on the various stages of process technology. Experimental studies on samples of welding aluminum alloy 1151AT 3mm thick have been done. Mathematical model was confirmed by thermal studies.

Т.Е. Фазлутдинова, В.Н. Куракина
КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СЛОИСТОЙ СРЕДЕ

Ключевые слова: напряжения, слоистая среда, неоднородная среда, метод пространственных характеристик.

Рассматривается задача о распространении двумерных упругих волн в слоисто-неоднородной среде, состоящей из произвольного числа слоев, в случае, когда направление динамического возмущения перпендикулярно слоям. Метод пространственных характеристик применен для расчета слоистых тел. Получены численные результаты для пятислойного тела прямоугольного сечения конечных размеров, характеристики которого скачком меняются на границе слоев.

T.E. Fazlutdinova, V.N. Kurakina
STRESS CONCENTRATION IN LAYERED MEDIA

Keywords: voltage, layered medium, inhomogeneous medium, method of spatial characteristics.

The propagation of elastic waves in two-dimensional layered inhomogeneous medium consisting of an arbitrary number of layers, when the direction of the dynamic perturbations perpendicular to the layers. The method of spatial characteristics used to calculate layered bodies. Numerical results for the five-layer rectangular body of finite size, whose characteristics change abruptly at the boundary layers.

В.Г. Фетисов, И.В. Фетисов, И.И. Панина
НЕКОТОРЫЕ ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ H_λ-ОПЕРАТОРЫ
Ключевые слова: синтез, локально ограниченные пространства, H_λ-оператор, интегро-степенной ряд Вольтерра, оценка параметра регуляризации.

Рассматриваются задача синтеза нелинейной динамической системы Вольтерра, содержащей H_λ-оператор входа-выхода, в среде локально ограниченных пространств, метод регуляризации и оптимальная оценка параметра регуляризации.

V.G. Fetisov, I.V. Fetisov, I.I. Panina
SOME OPEN QUESTIONS OF SYNTHESIS OF SYSTEMS CONTAINING H_λ-OPERATORS
Key words: synthesis, locally bounded space, H_λ-operator, integro-power series of Volterra, assessment of the regularization parameter.

Considered the problem of synthesis of nonlinear dynamic system of Volterra, containing H_λ – operator input-output, in environment of locally bounded spaces, the method of regularization and optimal assessment of the regularization parameter.

П.А. Хаванов, Ю.Г. Маркевич
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
Ключевые слова: конденсационный котел, теплотехнические параметры, теплообмен.

Рассмотрены и проанализированы теплотехнические параметры конденсационных котлов в автономных системах теплоснабжения. Сформулированы основные допущения при моделировании процесса. Разработана физическая модель процесса, обоснована методика получения обобщающихся зависимостей по теплообмену определенного термического сопротивления теплопередачи, его среднего значения и толщины конденсационной пленки на поверхности вертикальной пластины.

P.A. Khavanov, Y.G. Markievich
THERMAL CONDITIONS OF USE OF CONDENSING BOILERS IN THE AUTONOMOUS SYSTEMS OF HEAT SUPPLY
Keywords: condensation boiler, heat engineering parameters, heat.

Reviewed and analyzed the thermo-technical parameters condensing boilers in the Autonomous systems of heat supply. Formulates the main assumptions made in the modelling process. The physical model of the process is a technique to obtain обобщающихся dependences of the specific heat thermal resistance of heat transfer, its average value and the thickness of the film condensation on the surface of a vertical plate.

Р.Р. Хайруллин, Н.Н. Сафронов
СИНТЕЗИРОВАНИЕ СТАЛИ 38Х2МЮА ПРОЦЕССОМ СВС ИЗ ДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ
Ключевые слова: СВС, шихта, реактор, сплав, муллитокорунд, микроструктура.

Жаропрочная сталь 38Х2МЮА широко используется в промышленности для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях повышенных температур (до 450 ^{0}С). Однако, традиционный технологический процесс её получения весьма проблематичен и затратен по причине использования качественных и достаточно дефицитных шихтовых материалов и организации плавильного процесса с осуществлением мероприятий по рафинированию жидкого металла. В работе предложен альтернативный вариант синтезирования стали 38Х2МЮА на основе процесса СВС из дисперсных отходов машиностроения. Результатом представленных исследований является получение в безотходном режиме качественных материалов: сталь 38Х2МЮА и высокоглиноземистый алюмосиликатный огнеупорный материал марки СМКБ-72.

R.R. Khayrullin, N.N. Safronov
SYNTHESIZING STEEL 38H2MYUA SHS DISPERSE WASTE OF ENGINEERING
Keywords: SHS, charge, reactor, alloy, mullitokorund, microstructure.

Heat-resistant steel 38H2MYUA widely used in industry for the manufacture of critical components operating at high temperatures (up to 450 0C). However, the traditional process of receiving very problematic and the costs due to the use of high-quality and fairly scarce charge materials and the organization of the melting process with the implementation of the activities of refining liquid metal. In this paper we propose an alternative synthesis 38H2MYUA were based on the SHS process of particulate waste engineering. The result presented research is to obtain a waste-free mode, high-quality materials: steel 38H2MYUA and high-alumina silica-alumina refractory grade MMKC-72.

В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых, В.А Нестеров
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ АГРЕГАТОВ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ
Ключевые слова: ультразвук, коагуляция, субмикронные частицы.

V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, R.N. Golykh, V.A. Nesterov
STUDY OF AGGREGATE OF SUBMICRON PARTICLES FORMATION UNDER ULTRASONIC UNFLUENCE
Keywords: ultrasonic, coagulation, submicron particles.

В статье представлены результаты исследований, позволивших выявить режимы ультразвукового воздействия, обеспечивающие наименьшее время сближения дисперсных частиц субмикронного размера и установить наиболее вероятную форму образующихся агрегатов.

The article presents study that allows to calculate optimum ultrasonic influence modes for shortest time of particles convergence and to find the most possible form of aggregates.

А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА В УСЛОВИЯХ ИНТЕГРАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ И ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ СИЛ
Ключевые слова: Математическая модель, геотектоника, гравитация.

В работе представлена математическая модель комплексного воздействия гравитационных и тектонических сил на геомеханическое состояние массива.

A.B. Tsvetkov, L.D. Pavlova
MATHEMATICAL MODELING OF STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASS UNDER INFLUENCE OF GRAVITY AND TECTONIC FORCES
Keywords: Mathematical model, geotectonics, gravitation.

This paper presents a mathematical model of integrated effects of gravitational and tectonic forces on stress-strain state of the rock mass.

К.И. Чижик, А.В. Бабин
ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ВЛАГИ ВОЗДУХА
Ключевые слова: устройства извлечения влаги воздуха, конденсация, сорбция, вихревые технологии.

В работе представлен анализ современных устройств извлечения воды из влаги воздуха и их значимость в ликвидации мирового водного кризиса, приведены недостатки устройств и пути их устранения.

K.I. Chizhik, A.V. Babin
PROBLEMS OF THE MODERN EXTRACTION DEVICES FOR WATER FROM THE AIR
Keywords: extraction devices for water from the air, condensation, sorption, vortex technology.

This paper presents the analysis of the modern extraction devices for water from the air and their importance in the elimination of the global water crisis, the disadvantages of devices and ways to overcome them.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й В Е С Т Н И К П О В О Л Ж Ь Я

№6 2013

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 30.12.2013 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

26,3 усл.печ.л. 30,2 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1263.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"
420043, Республика Татарстан, Казань,
ул. Лесгафта, д.6
Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя
Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»