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 2012

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Казань

2012

УДК 60
ББК 30-1
Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №6 2012г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – 498 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

И.Н. Дияров – д.т.н., проф.; *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.;
Р.Х. Шагимуллин – к.т.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, 2012 г.**

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.А. Ачкасов К ВОПРОСУ О КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ С U-ОБРАЗНОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРОЙ 16

А.С. Вохминцев, Д.М. Спиридонов, Д.В. Чайкин, М.Г. Минин, И.А. Вайнштейн ДОЗОВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИ СТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ 20

Е.Ю. Макарова, Ю.В. Соколкин ЭФФЕКТИВНЫЕ УПРУГИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПОРИСТЫХ КОМПОЗИТОВ С УЧЕТОМ ЕСТЕСТВЕННОГО РАЗБРОСА СВОЙСТВ МАТРИЦЫ 24

А.В. Михайлов, В.Л. Шаблов МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БОРНОВСКИЕ РЯДЫ В ПРЕДСТАВЛЕНИИ ИСКАЖЕННЫХ ВОЛН В КВАНТОВОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ЧАСТИЦ С ЧИСТО КУЛОНОВСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ 28

И.М. Морсаков, А.В. Солнышкин, А.А. Богомолов, И.Л. Кислова, М.В. Силибин, Д.А. Киселев, В.В. Шварцман, О.М. Сеньченко ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ P(VDF-TrFE) С СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КЕРАМИКОЙ 32

М.А. Полоус, В.И. Ярыгин МЕТОДИКА ТРЕХМЕРНОГО РАСЧЕТА ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ 36

А.В. Солнышкин, А.А. Богомолов, И.М. Морсаков, М.В. Силибин, Д.А. Киселев, А.А. Дронов, К.С. Сеньченко ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ P(VDF-TrFE) 42

Д.В. Харитонов, И.А. Вайнштейн МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТОГО МЕТАМАТЕРИАЛА Ag-MgF_2-Ag С ФРАКТАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКОЙ 46

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ф.А. Зайнуллин К ПРОБЛЕМЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ РЕАГЕНТОВ ПРИ ПОЛИМЕРНОМ ЗАВОДНЕНИИ 50

О.В. Манаенков, О.Ю. Макеева, А.Е. Филатова, М.Г. Сульман, А.И. Сидоров, А.В. Быков, В.Г. Матвеева, М.Е. Григорьев, Э.М. Сульман КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТРОЛА ДЛЯ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПОЛИОЛЫ 54

М.И. Панфилова, М.В. Фомина, И.С. Панфилова ВОПРОСЫ ВЫБОРА ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЭРИРОВАННЫХ СИСТЕМ 59

М.И. Панфилова, М.В. Фомина, И.С. Панфилова НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ТЕХНИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНЪЕКЦИОННЫХ РАСТВОРОВ 62

А.А. Хасанов, В.А. Ефимов, Ж.С. Жулева НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСЧЕТА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ 64

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Р.И. Адгамов, С.В. Дмитриев, Т.Н. Каримов, А.Х. Хайруллин МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ 68

Р.И. Адгамов, С.В. Дмитриев, Т.Н. Каримов, А.Х. Хайруллин ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ 72

Р.И. Адгамов, С.В. Дмитриев, Т.Н. Каримов, А.Х. Хайруллин ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ГОРЯЧИМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ 76

А.С. Андреев, А.О. Артемова ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ГОЛОНОМНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 80

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, А.П. Бибичев, С.В. Старков, Д.В. Щенятский, Д.В. Зимин, В.Я. Модорский МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ 88

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, А.П. Бибичев, С.В. Старков, Д.В. Щенятский, Д.В. Зимин, В.Я. Модорский ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОХОДОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ 92

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, А.П. Бибичев, С.В. Старков, Д.В. Щенятский, Д.В. Зимин, В.Я. Модорский ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ГАЗОХОДОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ 96

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, Д.В. Щенятский, Б.Е. Кириевский, Р.В. Бульбович, В.Я. Модорский, П.В. Писарев ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В СОЕДИНИТЕЛЬНОМ КАНАЛЕ МОДЕЛЬНОГО НАСОСА 100

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, Д.В. Щенятский, Б.Е. Кириевский, Р.В. Бульбович, В.Я. Модорский, П.В. Писарев АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЕРВОЙ СТУПЕНИ МОДЕЛЬНОГО ДВУХСТУПЕНЧАТОГО НАСОСА 104

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, Д.В. Щенятский, Б.Е. Кириевский, Р.В. Бульбович, В.Я. Модорский, П.В. Писарев АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ВХОДА В СОЕДИНИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЕРВОЙ СТУПЕНИМОДЕЛЬНОГО ДВУХСТУПЕНЧАТОГО НАСОСА 108

А.О. Артемова МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ ДВУЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА НА ПОДВИЖНОМ ОСНОВАНИИ 112

В.М. Артюшенко, В.И. Воловач АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ПУТЕЙ И ЕЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 115

В.А. Атряхин, П.А. Шаманаев К ВОПРОСУ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ОТКЛОНЯЮЩИМСЯ АРГУМЕНТОМ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ 120

М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов, М.М. Гимадеев, В.Н. Друлис, В.А. Кривошеев, Т.В. Рзаева К ВОПРОСУ ОБ ОКОНЧАНИИ ФОРМИРОВАНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ПРИ ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ В ВОДЕ 124

Т.И. Балашова, М.А. Степаненко, С.Н. Капранов, В.И. Голованов, В.Ю. Грачев ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ И ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ 128

Л.В. Безбородов, М.В. Козлов ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ТЕНТОВЫМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ В РОССИИ 131

А.Б. Белиц ИСКУССТВЕННЫЕ ИММУННЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ОБУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЗВЕШЕННЫХ В-КЛЕТОК 135
П.В. Борков, А.Д. Корнеев, П.В. Комаров, А.Б. Бондарев ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ 138
С.В. Бочкарев, Д.К. Елтышев МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ 142
А.П. Буйносов, А.М. Кислицын УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДИАМЕТРОВ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА 147
А.П. Буйносов, Я.А. Мишин ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОПОРНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ПАССАЖИРСКОГО ЭЛЕКТРОВОЗА 151
А.П. Буйносов, И.М. Пышный РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОПОРИСТОВОГО АНТИФРИКЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ 155
А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Е.А. Гузенкова РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СВОБОДНОСТЬЮ ПУТИ ПРИ РАБОТЕ МАШИНИСТА ЛОКОМОТИВА В «ОДНО ЛИЦО» 159
А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, Б.С. Юшков К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ СПОСОБА УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА 163
А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, Б.С. Юшков РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ МОРОЗОБОЙНОЙ ТРЕЩИНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ 167
П.А. Бурцев ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗРЯДНОСТИ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ФАЗНЫХ ДАТЧИКОВ ТОКА НА КОЭФФИЦИЕНТ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ЗАМКНУТЫХ ПО КОНТУРУ ТОКА СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ 173
П.А. Бурцев ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИНУСОИДАЛЬНОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯЦИЙ 178
В.И. Воловач ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ НА ФОНЕ ВНУТРИПРИЕМНОГО ГАУССОВСКОГО ШУМА 184
В.В. Воронин, П.М. Поморцев, А.А. Кузнецов, А.А. Мотыко МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВИДЕОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО ДВУМЕРНОГО МЕТОДА РАЗМНОЖЕНИЯ ОЦЕНОК 189
А.С. Выскребенец, В.К. Петров СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ СКОРЛУПЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОРЕХА 193
А.С. Выскребенец, Г.И. Свердлик, А.Н. Фомин ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ НА РАБОТУ СИСТЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ 196
С.Н. Голышев, Д.В. Дикамов, С.Н. Ермаков, В.З. Минликаев, С.Н. Семёнов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУБЫ ГРУЗОНЕСУЩЕЙ ТГ 50/64-100 (НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОЙ) ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБВОДНЁННЫХ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН БЕЗ ИХ ГЛУШЕНИЯ 199
А.А. Грабский ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАРЬРНОГО КОМБАЙНА СО ШНЕКОФРЕЗЕРНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ ТИПА MTS (ГЕРМАНИЯ) 204

Д.В. Дмитриев, О.В. Андреева ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ АУТЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО ОТПЕЧАТКАМ ПАЛЬЦЕВ 211
В.В. Дубовсков, И.И. Наумов, О.Г. Толстунов, А.В. Седов, Н.С. Орлова ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ДВУХЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА 215
А.С. Дубровская ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ 219
И.Е. Евдокимов, Г.С. Филиппов, А.А. Яковлев ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАМЕТНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛА 223
И.Е. Евдокимов, Г.С. Филиппов, А.А. Яковлев ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ И ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ РАБОТЫ ДОЗВУКОВОГО СОПЛА МАЛОГАБАРИТНОГО ТРД НА БАЗЕ ТУРБОСТАРТЕРА ТС-21 228
И.Е. Жигалов, М.И. Озерова ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ 234
С.Г. Жуков ВОЛОКОННО – ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РАДИАЦИИ В ПНЕВМАТИЧЕСКОМ СООРУЖЕНИИ 238
Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, П.В. Евтин, А.С. Елесин ПЛАНИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ЭЛЕМЕНТАХ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ СЕЗОННОЙ ВАРИАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ 241
Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, В.Н. Карнаухов, А.С. Елесин ВИРТУАЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ 245
Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, П.В. Евтин, А.Е. Мироненко АНАЛИЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ СЕЗОННЫМИ УСЛОВИЯМИ И ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОБОРУДОВАНИЕМ ЗОНЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ 249
А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов, А.О. Артемов ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ НА ИЗГИБ 253
Д.П. Ильященко ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНВЕРТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ 260
И.С. Инжутов, М.С. Барков, П.А. Дмитриев, В.И. Жаданов РАСЧЕТ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ДВУСКАТНЫХ КЛЕЕДОЩАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ФЕРМ С УЧЕТОМ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ОСЕВЫХ УСИЛИЙ ЧЕРЕЗ УПОРЫ ПЕРЕМЕННОЙ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ 264
Д.С. Казакова ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КРЕДИТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ПЕРЕГРУЗОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ 268
О.А. Коваленко, В.И. Дождиков ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОГО СЛИТКА НА ОБРАЗОВАНИЕ ТРЕЩИН 271
Д.М. Кононов, А.В. Жданов, В.В. Морозов ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ PVD-ПОКРЫТИЙ 275
Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, О.А. Петрова МЕТОД ГЛОБАЛЬНОЙ НУМЕРАЦИИ УЗЛОВ ТРЁХМЕРНОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНИКИ 279
Л.А. Корякин, С.Н. Падалко МОДЕЛЬ СЕГМЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСНОВНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ 284

Д.И. Ластина НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ В КАНАДЕ 289
Т.В. Леванова, Ю.В. Долгушева РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ ДЛЯ ДВУХКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА 293
М.А. Ляховецкий ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА В ИЗУЧЕНИИ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ (МДО) 298
Т.Ф. Мамедова, А.А. Ляпина АСИМПТОТИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРОВСКОГО ТИПА 303
А.А. Матушкин, В.Г. Нестеренко, В.В. Нестеренко МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ГТД С ЩЕЛЕВЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ 307
Е.В. Митряйкина, Т.А. Зайцева ВНЕДРЕНИЕ СПИРАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ПУТЁМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ 311
Н.Я. Михалев О СОХРАНЕНИИ УНИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ПОКРЫТИЯ ГЛАВПОЧТАМТА В Г. МОСКВЕ 315
Ж.Г. Могилюк, М.С. Хлыстунов ФОРМЫ КОЛЕБАНИЙ КОНСОЛИ НА ГАРМОНИКАХ ПРОДОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА 319
О.Г. Морозов, Д.И. Касимова, А.А. Дутов, П.А. Махнев ДВУХЧАСТОТНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ОПТИЧЕСКИХ МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ ВВОДА-ВЫВОДА 322
В.С. Наговицын, А.П. Буйносов СТРУКТУРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА 326
В.И. Неволин, С.Н. Гергенбергер, М.Б. Меренков МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБАСТНОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ 330
В.С. Парлашкевич, А.А. Журавлев ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ СТАНЦИЙ 334
А.И. Пашковский ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ 340
О.В. Пищулина, В.Я. Модорский, В.В. Севастьянов ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПРАВКИ ДЛЯ НАМОТКИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 343
А.Д. Проскурин, В.А. Лысов, О.В. Шевченко ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА В РЕАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ВРЕМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ МНОГОПОЗИЦИОННОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ 347
А.А. Пятницкий, М.А. Пыльцин, Н.С. Прохорова, С.А. Крутик, А.М. Галушко УСИЛЕНИЕ СЖАТЫХ СТАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ 351
О.В. Романченко ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ: ЗНАЧЕНИЕ, ФУНКЦИИ И ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ 356
О.И. Рубцов, А.Ю. Бакалов, Д.И. Кобецкий КОНСОЛИДАЦИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ИМЕРЕТИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕХНОЛОГИИ «ПЕСКОНАСОС» 359
И.В. Рубцов, А.М. Галушко, Е.Д. Лавриненко ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА НА ЖИЛЫЕ КИРПИЧНЫЕ ЗДАНИЯ, НА ПРИМЕРЕ ЗДАНИЯ ОБЩЕЖИТИЯ В Г.САМАРЕ 363
И.Е. Сахаров, А.Е. Мозохин ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ РАБОТЕ С ХРАНИЛИЩАМИ ДАННЫХ 366

И.М. Селянцев ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КОНТУРА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА РАБОТУ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ 370
Е.А. Семенищев, Д.И. Тазетдинова, А.В. Писарев, С.В. Жук, Д.А. Тарасов РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ВЫСОКОДЕТАЛИЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ 374
А.А. Серебренников СПЕЦИФИКА НАГРУЗОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В ВИБРАЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЯХ 378
А.А. Серебренников, З.Р. Хакимов МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОДВИЖЕНИЮ РАБОЧЕГО ОРГАНА БЕСТРАНШЕЙНОГО ТРУБОУКЛАДЧИКА 382
А.Н. Серёдкин АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ ПОСТАВЩИКОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ КООПЕРАТИВАМИ 386
К.А. Смотрин ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕНОРМИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ 390
В.А. Столярчук ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ CAE - ПРИЛОЖЕНИЙ 394
Д.А. Таджиев ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ГОЛОНОМНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРИВОДОВ 398
О.П. Тимофеева, Э.С. Соколова, Н.С. Иконникова ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДВУМЕРНОЙ ОРТОГОНАЛЬНОЙ УПАКОВКИ 401
А.Р. Туснин ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОСТЕННОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ РАСЧЁТЕ ПРОГОНА ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ 405
А.Ю. Ушаков, М.Г. Ванюшенков ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕЙСТВИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СЖИМАЮЩИХ УСИЛИЙ НА НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗОГНУТОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНКИ 409
М.В. Фуфачева, А.Д. Сиразетдинова МЕТОДИКА ВЫБОРА СОБСТВЕННИКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ С ВАГОНОПОТОКАМИ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ 413
М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ МНОГОЗВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ 417
М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ 421
В.П. Хранилов, Д.А. Ляхманов, Ю.В. Соколова ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АНАЛИЗОМ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ 425
В.В. Шведенко, О.В. Щекочихин, В.А. Ипатов АГРЕГИРОВАНИЕ ДАННЫХ В ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СУБД «COBRA++» 429
М.М. Шихов МАШИНА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА С ОБОБЩЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИМВОЛОВ И ВЫЧИСЛЕНИЯМИ НА ПОДСТАНОВКАХ 434
А.Н. Шуваев, С.П. Санников, Д.В. Кубасов ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОЙ ГЕОРЕШЕТКИ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В БЕТОННОЙ ПЛИТЕ 440
П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов, Ю.Б. Лаврентьев ОБЗОР ВЯЗКОУПРУГИХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ 444
В.И. Юсенхан ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГИДРОСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАШИН 451

В.И. Юсенхан К ВОПРОСУ КРИТИЧНОСТИ ОТКАЗОВ ГИДРОЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН 455
Б.С. Юшков, А.С. Сергеев ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАТУХАЮЩЕЙ ПОЛЗУЧЕСТИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ КОМПРЕССИИ 458

АННОТАЦИИ 466

THE RELEASE MAINTENANCE

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

V.A. Achkasov ABOUT CRITERIA OF OPTIMIZATION OF EQUIPMENT FOR VIBROABRAZIVE PROCESSING WITH U-SHAPED WORKING CHAMBERS 16
A.S. Vokhmintsev, D.M. Spiridonov, D.V. Chaykin, M.G. Minin, I.A. Weinstein DOSE DEPENDENCES OF THE OPTICAL STIMULATED LUMINESCENCE PARAMETERS IN ALUMINUM NITRIDE SINGLE CRYSTALS 20
E.Yu. Makarova, Yu.V. Sokolkin EFFECTIVE ELASTIC PROPERTIES OF THE HIGH PORE COMPOSITES WITH THE NATURAL DISPERSION OF THE MATRIX PROPERTIES 24
A.V. Mikhailov, V.L. Shablov MODIFIED BORN SERIES IN THE DISTORTED-WAVE REPRESENTATION IN THE QUANTUM PROBLEM OF A THREE PARTICLE SYSTEM WITH THE PURE COULOMB INTERACTION 28
I.M. Morsakov, A.V. Solnyshkin, A.A. Bogomolov, I.L. Kislova, M.V. Silibin, D.A. Kiselev, V.V. Schwartzman, O.M. Sen′chenko DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF COMPOSITE FILMS BASED ON P(VDF-TrFE) AND FERROELECTRIC CERAMICS 32
M.A. Polous, V.I. Yarygin METHOD OF THREE-DIMENSIONAL CALCULATION OF OUTPUT CHARACTERISTICS OF THE EXPERIMENTAL THERMIONIC CONVERTER 36
A.V. Solnyshkin, A.A. Bogomolov, I.M. Morsakov, M.V. Silibin, D.A. Kiselev, A.A. Dronov, K.S. Sen′chenko PYROELECTRIC PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS ON THE BASE OF P(VDF-TrFE) 42
D.V. Kharitonov, I.A. Weinstein SIMULATION OF THE OPTICAL PROPERTIES IN LAYERED Ag-MgF_2-Ag METAMATERIAL WITH FRACTAL CELL 46

CHEMICAL SCIENSEC

F.A. Zainullin ON THE PROBLEM OF ECOLOGICALLY SAFE REAGENTS IN THE PROCESS OF WATER FLOODING 50
O.V. Manaenkov, O.Yu. Makeeva, A.E. Filatova, M.G. Sulman, A.I. Sidorov, A.V. Bykov, V.G. Matveeva, M.E. Grigoryev, E.M. Sulman HYPERCROSSLINKED POLYSTYRENE-SUPPORTED CATALYST FOR CELLULOSE CONVERSION PROCESS TO POLYOLS 54
M.I. Panfilova, M.V. Fomina, I.S. Panfilova QUESTIONS OF CHOICE IN THE PRODUCTION OF AERATED FOAM SYSTEMS 59
M.I. Panfilova, M.V. Fomina, I.S. Panfilova SOME FEATURES OF THE INFLUENCE OF ADDITIVES TECHNICAL CLEANING PRODUCTS ON THE STABILITY AND STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF INJECTION SOLUTIONS 62
A.A. Hasanov, V.A. Efimov, Zh.S. Zhuleva SOME METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE CALCULATION OF MOLAR MASS DISTRIBUTION 64

ENGINEERING SCIENCE

R.I. Adgamov, S.V. Dmitriev, T.N. Karimov, A.H. Khairullin MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATING THE PERFORMANCE OF MULTINOMENCLATURE AUTOMATED PRODUCTION ENGINEERING 68
R.I. Adgamov, S.V. Dmitriev, T.N. Karimov, A.H. Khairullin PERFORMANCE EVALUATION OF AUTOMATED PRODUCTION SITE ENGINEERING COMPANIES IN CENTRAL CONTROL SYSTEM 72

R.I. Adgamov, S.V. Dmitriev, T.N. Karimov, A.H. Khairullin PERFORMANCE EVALUATION OF AUTOMATED PRODUCTION SITE ENGINEERING COMPANIES HOT SPARE MANAGEMENT 76
A.S. Andreev, A.O. Artemova ON THE HOLONOMIC MECHANICAL SYSTEM MOTION CONTROL 80
I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, A.P. Bibichev, S.V. Starkov, D.V. Shchenyatsky, D.V. Zimin, V.Ya. Modorsky TECHNIQUE OF NUMERICAL FORECASTING OF FROSTING OF AIR DUCTS OF VARIABLE SECTION 88
I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, A.P. Bibichev, S.V. Starkov, D.V. Shchenyatsky, D.V. Zimin, V.Ya. Modorsky NUMERICAL MODELLING INTENSE THE DEFORMED CONDITION OF GAS FLUES OF VARIABLE SECTION 92
I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, A.P. Bibichev, S.V. Starkov, D.V. Shchenyatsky, D.V. Zimin, V.Ya. Modorsky NUMERICAL MODELLING OF FROSTING OF GAS FLUES OF VARIABLE SECTION 96
I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, D.V. Shchenyatsky, B.E. Kirievsky, R.V. Bulbovich, V.Ya. Modorsky, P.V. Pisarev NUMERICAL MODELLING OF OSCILLATORY PROCESSES IN THE CONNECTING CHANNEL OF THE MODEL PUMP 100
I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, D.V. Shchenyatsky, B.E. Kirievsky, R.V. Bulbovich, V.Ya. Modorsky, P.V. Pisarev THE ANALYSIS OF OSCILLATORY PROCESSES IN THE FIRST STEP MODEL TWO-LEVEL PUMP 104
I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, D.V. Shchenyatsky, B.E. Kirievsky, R.V. Bulbovich, V.Ya. Modorsky, P.V. Pisarev THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE DESIGN OF THE ENTRANCE TO THE CONNECTING CHANNEL ON OSCILLATORY PROCESSES IN THE FIRST STEP MODEL TWO-LEVEL PUMP 108
A.O. Artemova THE TWO-LINK MANIPULATOR WITH MOVING BASE CONTROLLED MOTION MODELING 112
V.M. Artyushenko, V.I. Volovach ANALYSIS OF OPERATING CONDITIONS OF THE MONITORING SYSTEM OF FILLING OF WAYS AND ITS INFORMATION SUPPORT 115
V.A. Atryahin, P.A. Shamanaev TO THE PROBLEMS OF NUMERICAL SOLUTIONS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DEVIATING ARGUMENTS AND THEIR APPLICATIONS 120
M.N. Ahmetov, N.D. Ahmetov, M.M. Gimadeev, V.N. Drulis,V.A. Krivosheev, T.V. Rzaeva ON THE ISSUE OF SHOCK WAVE FORMATION TERMINATION IN HIGH-VOLTAGE ELECTRIC DISCHARGE IN WATER 124
T.I. Balashova, M.A. Stepanenko, S.N. Kapranov, V.I. Golovanov, V.U. Grachev MODEL DEVELOPING AND ARCHITECTURE OPTIMIZATION OF ENTERPRISE INFORMATION NETWORK 128
L.V. Bezborodov, M.V. Kozlov PROSPECTS OF SPORTS FACILITIES WITH TENT PROTECTING DESIGNS IN RUSSIA 131
A.B. Belits ARTIFICIAL IMMUNE NETWORK ON THE BASIS OF MODIFIED ALGORITHM OF LEARNING DYNAMIC WEIGHTED B-CELL 135
P.V. Borkov, A.D. Korneev, P.V. Komarov, A.B. Bondarev RESEARCH OF CYCLIC DURABILITY POLYMER COMPOSITES BASED ON PARAMETER OF STRUCTURE 138
S.V. Bochkarev, D.K. Eltyshev METHODS OF MAKING OPTIMAL DECISIONS WHEN REPAIR OF HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT 142
A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn THE DEVICE FOR CONTROL OF DIAMETERS OF BANDAGES WHEELPAIRS OF THE TRACTION ROLLING STOCK 147
A.P. Buinosov, Y.A. Mishin INCREASE OF DURABILITY OF BASIC CYLINDRICAL ROLLER BEARINGS OF THE TRACTION DRIVE OF THE PASSENGER ELECTRIC LOCOMOTIVE 151

A.P. Buinosov, I.M. Pishniy RESULTS OF APPLICATION OF NANOPORISTOVOGO OF THE ANTIFRICTIONAL COVERING ON INCREASE OF THE RESOURCE OF WHEEL COUPLES OF INDUSTRIAL ELECTRIC LOCOMOTIVES 155
A.P. Buinosov, K.A. Statsenko, E.V. Bgan, E.A. Guzenkova DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF TRACKING THE WAY SVOBODNOST AT WORK OF THE OPERATOR OF THE LOCOMOTIVE B «ONE PERSON» 159
A.M. Burgonutdinov, O.N. Burmistrova, B.S. Yushkov TO QUESTION THE VALIDITY OF A WAY TO IMPROVE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SUBGRADE SOIL IN NORTH-WEST REGION 163
A.M. Burgonutdinov, O.N. Burmistrova, B.S. Yushkov DEVELOPMENT OF A METHOD OF A CERTAIN WIDTH EDUCATION FROST CRACKS ON THE SURFACE OF FORESTRY ROAD 167
P.A. Burtsev ESTIMATION INFLUENCE DIGIT CAPACITY OF ANALOG-DIGITIZERS PHASE CURRENT SENSORS ON COEFFICIENT OF NONUNIFORMITY ROTATION OF THE ASYNCHRONOUS ELECTROMOTOR IN THE CLOSED SOFTWARE TO THE CIRCUIT OF THE CURRENT MANAGEMENT SYSTEMS 173
P.A. Burtsev SINGULARITIES OF IMPLEMENTATION OF SINUSOIDAL AND SPACE-VECTOR PULSE-WIDTH MODULATIONS 178
V.I. Volovach DETERMINATION OF PROBABILISTIC PARAMETERS OF RADIO ENGINEERING DEVICES OF DETECTION AGAINST INTRA RECEPTION GAUSSIAN NOISE 184
V.V. Voronin, P.M. Pomortsev, A.A. Kuznetsov, A.A. Motyka METHOD OF VIDEO SIGNAL RECONSTRUCTION BASED ON TWO-DIMENSIONAL ADAPTIVE METHOD OF MULTIPLE ESTIMATES 189
A.S. Vyskrebenets, V.K. Petrov IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR DESTRUCTION OF THE SHELL OF DIFFERENT TYPES OF THE NUTS 193
A.S. Viskrebenets, G.I. Sverdlik, A.N. Fomin ATMOSPHERIC CONDITIONS AFFECT ON THE MINE VENTILATION SYSTEMS OPERATION 196
S.N. Golyshev, D.V. Dikamov, S.N. Ermakov, V.Z Minlikaev, S.N. Semyonov USE OF A LOAD-CARRYING PIPE TG 50/64-100 (PUMP-AND-COMPRESSOR TYPE) IN FLOODED GAS WELLS UNDER OPERATING CONDITIONS WITHOUT THEIR CAPPING 199
A.A. Grabsky APPLICATION OF DIGITAL SIMULATION FOR THE ANALYSIS OF DYNAMIC SYSTEM STABILITY OF A SURFACE MINER WITH THE WORKING BODY OF THE TYPE MTS (GERMANY) 204
D.V. Dmitriev, O.V. Andreeva AN OPTIMAL ALGORITHM FORMING FOR INFORMATION TRANSFER IN THE PROCESS OF INDIVIDUALS AUTHENTICATION BY FINGERPRINTS 211
V.V. Dubovskov, I.I. Naumov, O.G. Tolstunov, A.V. Sedov, N.S. Orlova RESEARCH AND COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS LINEAR INTERPOLATION TRAJECTORY OF THE WORKING TOOL OF A TWO-TIER MECHANISM 215
A.S. Dubrovskaya THE NUMERICAL RESEARCH OF TURBINE BLADE SOLIDIFICATION AND STRUCTURE FORMATION DURING CRISTALLIZATION PROCESS 219
I.E. Evdokimov, G.S. Filippov, A.A. Yakovlev THERMAL SIGNATURE REDUCTION PROBLEMS OF AIRCRAFT ENGINES 223
I.E. Evdokimov, G.S. Filippov, A.A. Yakovlev TC-21 TURBINE-STARTER-BASED GAS-DYNAMIC AND THERMAL CALCULATION OF SUBSONIC SMALL-SIZE TURBOJET ENGINE NOZZLE OPERATION 228
I.E. Zhigalov, M.I. Ozerova DESIGN OF AUTOMATED RISK ASSESSMENT OF NATURAL FIRES 234

S.G. Zhukov FIBER - OPTICAL SYSTEM FOR RADIATION MONITORING IN PNEUMATIC STRUCTURES 238
N.S. Zaharov, G.V. Abakumov, P.V. Evtin, A.S. Elesin REQUIREMENTS PLANNING IN THE BRAKE SYSTEM ELEMENTS ACCORDING TO THE SEASONAL INTENSITY VARIATIONS AND VEHICLE OPERATING CONDITIONS 241
N.S. Zaharov, G.V. Abakumov, V.N. Karnauhov, A.S. Elesin VIRTUAL SIMULATOR FOR MODELING THE PROCESSES OF THE CAR'S BRAKING SYSTEM FUNCTIONING 245
N.S. Zaharov, G.V. Abakumov, P.V. Evtin, A.E. Mironenko ANALYSIS OF THE CAUSE-EFFECT RELATIONSHIP BETWEEN SEASONAL CONDITIONS AND THE AMOUNT OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMED BY MOTOR VEHICLES, INCLUDING ENERGY USED IN THEIR REPAIR AND MAINTENANCE 249
A.M. Ignatova, M.N. Ignatov, A.O. Artemov FEATURES DEFORMATION AND FAILURE AT TEST SYNTHETIC MINERAL ALLOYS AND FOLD 253
D.P. Il'yaschenko INFLUENCE INVERTER POWER SOURCE ARC WELDING ON THE PROPERTIES OF WELDED JOINTS 260
I.S. Inzhutov, M.S. Barkov, P.A. Dmitriev, V.I. Zhadanov CALCULATION OF THE COMPRESSED-BENDABLE DUAL-SLOPE GLUED-BOARD ELEMENTS LARGE-SPAN GIRDER CONSIDERING THE SHEAR FORCES WITH TRANSMISSION OF AXIAL FORCES ACROSS SUPPORTS VARIABLE FLEXURAL STIFFNESS 264
D.S. Kazakova IMPROVEMENT OF INFORMATION SECURITY IN FINANCIAL INSTITUTIONS USING SIMULATION AND ANALYSIS OF AUTOMATED COMPUTER SYSTEM OVERLOADS 268
O.A. Kovalenko, V.I. Dozhdikov INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE CONTINUOUS CASTING STRUCTURE FORMATION ON THE CRACKING 271
D.M. Kononov, A.V. Zhdanov, V.V. Morozov RECEIVING AND RESEARCH OF DIAMONDLIKE PVD-COATING 275
E.S. Kornev, L.D. Pavlova, O.A. Petrova METHOD OF GLOBAL NUMBERING OF NODES OF THREE DIMENSIONAL FINITE ELEMENT MODEL OF ROCK MASS IN SOLVING PROBLEMS OF GEOMECHANICS 279
L.A. Koryakin, S.N. Padalko SEGMENTED MANAGEMENT AND CONTROL MODEL OF AEROSPACE INDUSTRY PRODUCTION 284
D.I. Lastina SOME ISSUES OF DESINING ENERGY EFFICIENT BUILDINGS IN CANADA 289
T.V. Levanova, Y.V. Dolgusheva DEVELOPMENT OF ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR BI-CRITERIA PROBLEM OF PRODUCTION PLANNING 293
M.A. Lyakhovetsky APPLICATIONS THE METHODS OF EXPERIMENTAL DESIGN IN STUDYING THE PROPERTIES OF COATINGS OBTAINAD BY MICROARC OXIDATION (MAO) 298
T.A. Mamedova, A.A. Lyapina ASYMPTOTIC EQUIVALENCE OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF VOLTERRA TYPE 303
A.A. Matushkin, V.G. Nesterenko, V.V. Nesterenko BLADES HIGH PRESSURE TURBINE GTE WITH SLOT COOLING AND METHODOLOGY OF ITS DESIGN 307
E.V. Mitriaikina, T.A. Zaytseva THE INTRODUCTION OF THE SPIRAL COMPUTED TOMOGRAPHY TO DETERMINE THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE MATERIAL BY EXAMINING ITS INTERNAL STRUCTURE 311
N.Ya. Mihalev PRESERVATION OF UNIQUE STRUCTURAL STEEL TRANSLUCENT COVER POST OFFICE IN MOSCOW 315
J.G. Mogiljuk, M.S. Hlystunov THE CONSOLE VIBRATIONS FORMS ON A LONGITUDINAL ACOUSTIC RESONANCE HARMONICS 319
O.G. Morozov, D.I. Kasimova, A.A. Dutov, P.A. Makhnev TWO-FREQUENCY MONITORING OF RECONFIGURABLE OPTICAL ADD-DROP MULTIPLEXER 322

V.S. Nagovitsyn, A.P. Buinosov STRUCTURAL CLASSIFICATION OF MEANS OF DIAGNOSTICS OF THE TRACTION ROLLING STOCK 326
V.I. Nevolin, S.N. Gergenberger, M.B. Merenkov SIMULATION OF ROBUST MULTICHANNEL DETECTOR OF PULSE SIGNALS 330
V.S. Parlashkevich, A.A. Zhuravliov WAYS IMPROVEMENT CARRYING CAPACITY OF THE FULL-SCALE STRUCTURE OF THE RADIO COMMUNICATION TAUERS 334
A.I. Pashkovsky MARKOV MODELS USING IN TECHNICAL DIAGNOSTICS 340
O.V. Pischulina, V.J. Modorsky, V.V. Sevastyanov NUMERICAL SIMULATION OF TENSE STRAIN STATE OF THE MADREL FOR ROLLING THE CONSTRUCTIONS MADE OF COMPOSITE MATERIALS 343
A.D. Proskurin, V.A. Lysov, O.V. Shevchenko THE PROBABILISTICALLY - STATISTIC EVALUATION OF TECHNOLOGICAL OPERATIONSS MULTIPOINT AUTOMATIC MONITORING IN REAL TIME REGIME 347
A.A. Pyatnitsky, M.A. Pyl'tsyn, N.S. Prokhorova, S.A. Krutik, A.M. Galushko ENHANCING COMPRESSED STEEL RODS WITHOUT UNLOADING 351
O.V. Romanchenko GEODETIC ENTERPRISE IN THE BUILDING INDUSTRY: VALUE, FUNCTION AND MANAGEMENT ACTIVITIES 356
O.I. Rubtsov, A.Yu. Bakalov, D.I. Kobetsky CONSOLIDATION OF SOFT GROUNDS IN THE FOUNDATION OF THE EMBANKMENT OF ENGINEERING PROTECTION OF THE IMERET LOWLAND WITH THE USE OF THE "PESKONASOS" TECHNOLOGY 359
I.V. Rubtsov, A.M. Galushko, E.D. Lavrinenko STUDIES OF THE VIBRATION EFFECTS OF THE UNDERGROUND ON RESIDENTIAL BRICK BUILDINGS AT THE EXAMPLE OF A HOSTEL BUILDING IN SAMARA 363
I.E. Sakhorov, A.E. Mozokhin EVALUATE THE PERFORMANCE OF CORPORATE INFORMATION SYSTEMS (CIS) AND DATA WAREHOUSING 366
I.M. Selyantsev EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CROSS-SECTION SHAPE CHANGING ON WORK OF THIN WALLED COLD-FORMED STEEL BEAM 370
E.A. Semenishchev, D.I. Tazetdinova, A.V. Pisarev, S.V. Juk, D.A. Tarasov RESEARCH AND DEVELOPMENT METHODS OF DETECTION HIGHLY DETAILED OBJECTS IN THE IMAGE 374
A.A. Serebrennikov SPECIFIC LOADS OF ROLLING BEARINGS IN VIBRATING MIXER 378
A.A. Serebrennikov, Z.R. Hakimov METHODS AND RESULTS FOR DETERMINING THE RESISTANCE OF FORCE PROMOTION OF THE BODY TRENCHLESS PIPE LAYER 382
A.N. Seredkin ASSESSMENT AUTOMATION OF SUPPLIERS IN THE CONTROL SYSTEM OF THE AGRICULTURAL CONSUMER COOPERATIVES 386
K.A. Smotrin ABOUT USE OF NONNORMABLE PARAMETERS OF PARTIAL DISCHARGES FOR DIAGNOSING ISOLATION OF HIGH VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT 390
V.A. Stolyarchuk PROGRAM SYSTEM FOR TRAINING OF DEVELOPERS OF CAE-APPLICATIONS 394
D.A. Tadzhiev ON THE HOLONOMIC MECHANICAL SYSTEM MOTION CONTROL TO THE DYNAMIC DRIVE 398
O.P. Timofeeva, E.S. Sokolova, N.S. Ikonnikova APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM TO OPTIMIZATION OF TWO-DIMENSIONAL ORTHOGONAL PACKING 401
A.R. Tusnin USE THIN-WALLED FINITE ELEMENT IN CALCULATING CHASE AN OPEN PROFILE 405

A.Yu. Ushakov, M.G. Vanyushenkov THE INFLUENCE OF THE LONGITUDINAL COMPRESSIVE FORCES ON THE STRESS-STRAIN STATE OF A CURVED RECTANGULAR PLATE 409
M.V. Fufacheva, A.D. Sirazetdinova THE ROLLING STOCK OWNER CHOICE METHODS FOR EFFICIENT WORK WITH NON-PUBLIC RAILWAY TRACK OF CAR TRAFFIC VOLUME 413
M.S. Hlystunov, J.G. Mogiljuk THE ACOUSTIC ENERGY PRESERVATION LAW FOR THE LINEAR ITERATIVE ROD DESIGNS 417
M.S. Hlystunov, Z.G. Mogiljuk THE ACOUSTIC ENERGY PRESERVATION LAW FOR THE RODS LINEAR DESIGNS 421
V.P. Hranilov, D.A. Lyakhmanov, Y.V. Sokolova OPTIMIZATION OF THE METHOD OF FORECASTING BASED ON SPECTRAL COMPONENT ANALYSIS OF TIME SERIES 425
V.V. Shvedenko, O.V. Shekochihin, V.A. Ipatov DATA AGGREGATION IN A PROCESS-ORIENTED DBMS «COBRA++» 429
M.M. Shihov THE PARALLEL INFERENCE MACHINE WITH FUNCTIONAL SUMBOLS GENERALISATION AND CALCULATIONS SUPPORT 434
A.N. Shuvaev, S.P. Sannikov, D.V. Kubasov EFFECT OF VOLUME GEOGRIDS THERMAL STRESSES IN THE CONCRETE SLAB 440
P.P. Yurigin, I.S. Gudanov, G.M. Goncharov, A.A. Lomov, Y.B. Lavrentiev OVERVIEW OF VISCOELASTIC RHEOLOGICAL MODELS OF POLYMER FLOWS 444
V.I. Yusenhan RATIONALE EVALUATE YOUR DISTRIBUTOR TO RELIABILITY AND PERFORMANCE CONTROL HYDRAULIC FOREST MACHINES 451
V.I. Yusenhan FAILURE TO CRITICALITY HYDRAULIC HYDRAULIC FOREST MACHINES 455
B.S. Yushkov, A.S. Sergeyev EXPERIMENTAL STUDIES TRANSIENT CREEP SOIL IN COMPRESSION 458

ABSTRACTS 466

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.02.06

В.А. Ачкасов

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ МИСиС,
факультет металлургических и машиностроительных технологий,
кафедра прикладной механики,
Старый Оскол, achkasov20@yandex.ru

К ВОПРОСУ О КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ С U-ОБРАЗНОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРОЙ

В работе предложен критерий оптимизации оборудования для виброабразивной обработки с U-образной рабочей камерой, разработанный на основе проведенных автором экспериментальных исследований.

Ключевые слова: *виброабразивная обработка, критерий оптимизации, проектирование вибростанков.*

При проектировании оборудования для виброабразивной обработки конструкторы стремятся выбрать их оптимальные конструктивные параметры и режимы работы на основании выбранного критерия оптимизации. Следует отметить, что использование технологических критериев оптимизации не всегда удобно, так как должна быть определена функциональная зависимость между динамическими и кинематическими параметрами и выбранным критерием оптимизации, что, как правило, является сложной математической задачей. Поэтому предпочтительным представляется применение механического критерия оптимизации, зависимость которого от кинематических и динамических параметров может быть сравнительно легко определена.

В качестве механических критериев оптимизации виброабразивной обработки в рабочих камерах плоского движения различные исследователи использовали следующие критерии:

1. мощность, рассеянная в технологической загрузке вибромашины [1, 2];
2. скорость циркуляции технологической загрузки [3];
3. скорость перемещения абразивных гранул относительно обрабатываемых деталей [4];
4. сила взаимодействия деталей и рабочей среды [5, 6].

Указанные критерии позволяют прогнозировать производительность виброабразивной обработки в машинах с определенными размерами U-образной рабочей камеры и массой технологической загрузки. Однако, их использование при проектировании и оптимизации вибромашин затруднительно без наличия экспериментальных данных виброабразивной обработки на машинах с соответствующими параметрами рабочей камеры и массы технологической загрузки ввиду отсутствия их функциональной связи с этими параметрами. Поэтому актуальным является разработка нового критерия оптимизации, который позволил бы оценивать производительность виброабразивной обработки при различных размерах рабочей камеры и массы загрузки без проведения дополнительных экспериментов.

С целью разработки критерия был проведен комплекс эксперименальных исследований на вибромашине с U-образной рабочей камерой и дебалансным приводом [1, 6]. Эксперименты проводились по плану полного факторного эксперимента с последующим регрессионным анализом математической модели.

Для проведения экспериментальных исследований использовались три U-образные рабочие камеры шириной 350 мм, 300 мм и 250 мм. При проведении экспериментов в качестве абразивного наполнителя использовался предварительно обкатанный дробленый

диабаз грануляцией 7-12 мм. В качестве рабочей жидкости применялся 2% раствор кальцинированной соды с непрерывной ее подачей и отводом. Расход рабочей жидкости составлял 0,25 л/мин.

Для определения металлосъема использовались образцы из стали 3 в состоянии поставки. Средняя масса образца составляла 115 г. Одновременно в рабочую камеру загружалось 10 образцов. Каждый опыт повторялся 3 раза.

На основании априорной информации в качестве основных факторов были приняты: амплитуда колебаний рабочей камеры *A*, частота вращения дебалансов *n* и момент инерции загрузки $I_з$. Значения основных факторов и интервалы их варьирования приведены в следующей таблице.

Таблица - Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы		Уровни факторов			Интервал варьирования	Зависимость кодированной переменной от натуральной
		Min (-1)	Средний (0)	Max (+1)		
X_1 – амплитуда *A*, мм		2	3	4	1	$X_1 = \frac{A-3}{1}$
X_2 – частота вращения дебалансов *n*, об/мин		803	903	1003	100	$X_2 = \frac{n-903}{100}$
X_3 – момент инерции загрузки $I_з$, $кг \cdot м^2$	Камера №1	0,150	0,175	0,200	0,025	$X_3 = \frac{I_з - 0{,}150}{0{,}025}$
	Камера №2	0,250	0,275	0,300	0,025	$X_3 = \frac{I_з - 0{,}250}{0{,}025}$
	Камера №3	0,350	0,375	0,400	0,025	$X_3 = \frac{I_з - 0{,}350}{0{,}025}$

В качестве функции отклика была принята производительность обработки *M*, которая оценивалась средним металлосъемом с поверхности одной детали в граммах за 20 минутный цикл обработки.

После проведения регрессионного анализа результатов экспериментов и оценки значимости коэффициентов регрессионной модели с помощью *t*-критерия Стьюдента, были получены следующие выражения для функции отклика:

- камера 1:

$$M = 0{,}376 + 0{,}074 \cdot X_1 + 0{,}031 \cdot X_2 - 0{,}024 \cdot X_3 + 0{,}014 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0{,}006 \cdot X_1 \cdot X_3$$

- камера 2:

$$M = 0{,}371 + 0{,}059 \cdot X_1 + 0{,}031 \cdot X_2 - 0{,}021 \cdot X_3 + 0{,}009 \cdot X_1 \cdot X_2$$

- камера 3:

$$M = 0{,}451 + 0{,}056 \cdot X_1 + 0{,}029 \cdot X_2 - 0{,}024 \cdot X_3 + 0{,}009 \cdot X_1 \cdot X_2$$

Проверка адекватности приведенных моделей по критерию Фишера показала, что все модели являются адекватными в заданном интервале варьирования факторов.

Анализ полученных моделей показал, что момент инерции загрузки оказывает существенное влияние на производительность обработки, причем при его увеличении производительность обработки снижается, что необходимо учитывать при проектировании вибромашин.

При разработке нового критерия оптимизации в качестве базового был принят критерий «мощность, рассеянная в технологической загрузке». Выбор этого критерия обусловлен сравнительной простотой обеспечения требуемой его величины (и управления ею) по сравнению с другими критериями. Этот критерий пропорционален величине $\omega^2 \cdot A^2$, где A - амплитуда, а ω - частота колебаний рабочей камеры.

А.П.Сергиевым в [1] было доказано, что металлосъем при абразивной виброобработке деталей остается постоянным при различных сочетаниях амплитуды и частоты, если величина $\omega^2 \cdot A^2$ остается неизменной. Этот факт был экспериментально подтвержден при обработке деталей на вибромашине с определенными размерами рабочей камеры и постоянной массой загрузки. К настоящему времени не установлено функциональной связи параметров рабочей камеры и массы технологической загрузки с величиной $\omega^2 \cdot A^2$, поэтому затруднительно ее использовать при проектировании вибромашин с произвольными параметрами рабочего органа и массы загрузки.

С целью установления такой взаимосвязи базовый критерий оптимизации был преобразован с учетом экспериментально определенной обратнопропорциональной зависимости металлосъема от момента инерции загрузки:

$$K = \frac{a^2 \cdot \omega^2}{I_з} \qquad (1.1)$$

На рисунке 1 приведен экспериментальный график зависимости металлосъема в рабочих камерах различной ширины от предложенного критерия производительности.

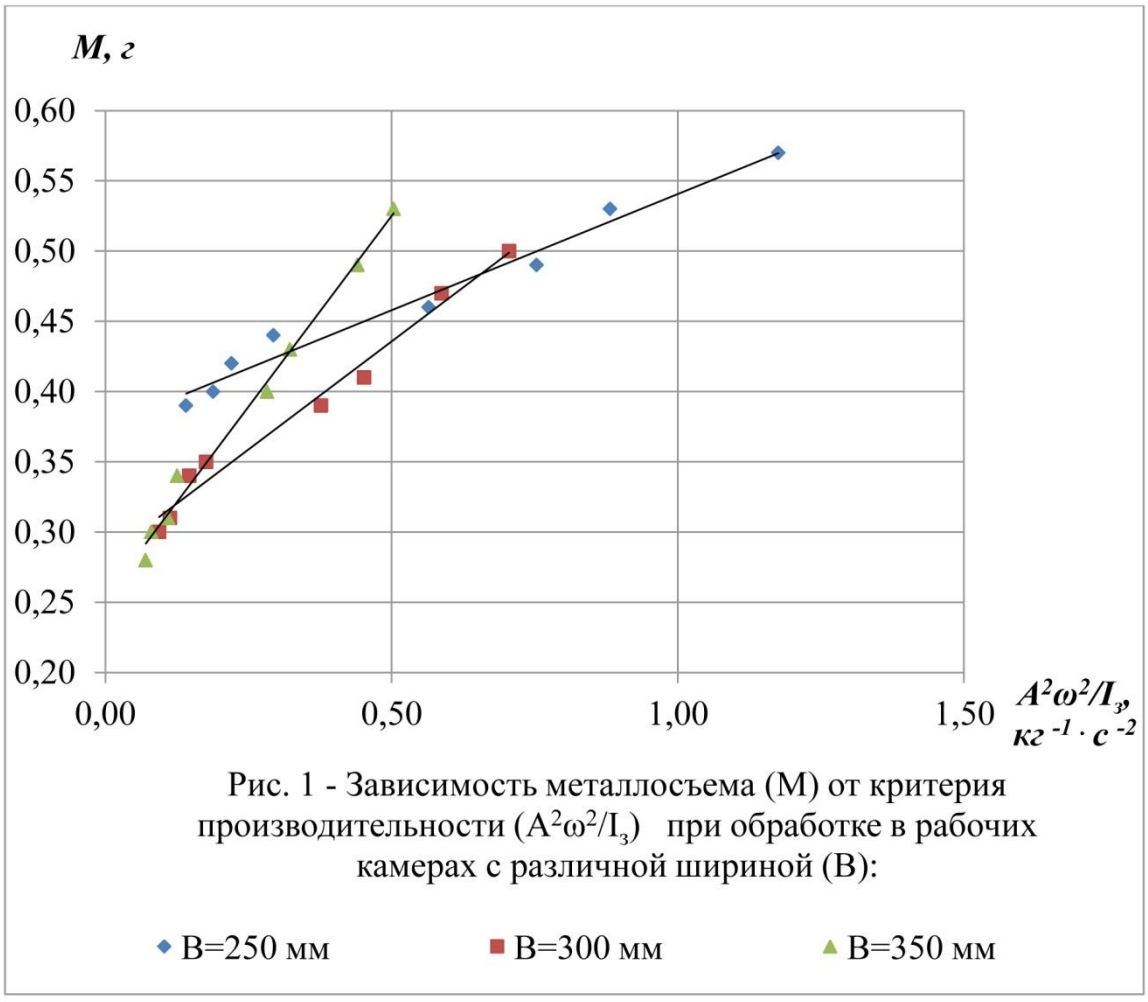


Рис. 1 - Зависимость металлосъема (М) от критерия производительности ($A^2\omega^2/I_з$) при обработке в рабочих камерах с различной шириной (В):

График наглядно показывает возможность получения одинаковой производительности виброабразивной обработки в U-образных рабочих камерах различных размеров с различной массой технологической загрузки при условии постоянства предложенного критерия оптимизации:

$$\frac{A_1^2 \cdot \omega_1^2}{I_{з1}} = \frac{A_2^2 \cdot \omega_2^2}{I_{з2}} \qquad (1.2)$$

Таким образом, разработанный критерий оптимизации может быть использован при проектировании вибромашин с U-образной рабочей камерой с целью обеспечении заданной производительности обработки деталей. Он также может использоваться как для определения технологических режимов работы вибромашин при определенных размерах рабочей камеры и массе загрузки, так и для расчета размеров рабочей камеры и требуемой массы загрузки при заданных технологических режимах.

Список литературы

1. *Сергиев А.П.* Исследование процесса обработки и механизации и автоматизации вспомогательных работ на машинах для объемной вибрационной обработки // Механизация процесса снятия заусенцев. М.: МДНТП, 1966. - с. 74–85.
2. *Субач А.П.* Динамика процессов и машин объемной обработки. Рига: Зинатне, 1991. - 400 с.
3. *Блехман И.И., Левенгарц В.Л.* Динамическая модель процесса движения загрузки в рабочих камерах машин для виброабразивной обработки деталей // Вопросы динамики и прочности. Рига: Зинатне. - 1980. - - № 36.- с. 83–93.
4. *Карташов И.Н. и др.* Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах. Киев: Вища школа, 1975. - 188 с.
5. *Matsunaga M., Hagiuda J.* Vibratory finishing - Fundamental Research (Institute of Industrial science, University of Tokyo) // Metal Finishing.- 1965.- Vol. 63. - № 9. - с. 10–19.
6. *Бабичев А.П.* Вибрационная обработка деталей. М.: Машиностроение, 1974. - 136 с.

01.04.07

**А.С. Вохминцев к.ф.-м.н., Д.М. Спиридонов, Д.В. Чайкин,
М.Г. Минин, И.А. Вайнштейн д.ф.-м.н.**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Университетский НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии»,
Екатеринбург, a.s.vokhmintsev@ustu.ru

ДОЗОВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИ СТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Исследованы параметры дозовых зависимостей β-облученных монокристаллов AlN методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) в режиме непрерывной волны. Установлено, что радиационно-индуцированное послесвечение является одним из каналов фединга дозиметрического сигнала и влияет на параметры линейности дозовых зависимостей. Показано, что для корректной оценки дозы облучения требуется учет послесвечения при анализе дозовых характеристик ОСЛ отклика.

Ключевые слова: *AlN, ОСЛ, послесвечение, фединг.*

Монокристаллический AlN с энергетической щелью 6.2 эВ обладает высокой температурной проводимостью и коэффициентом теплового расширения близким к кремнию, что обеспечивает его широкое применение в опто- и микроэлектронике в качестве УФ-эмиттеров, подложек для гибридных интегральных схем и силовой электроники [1]. С момента синтезирования первых объемных монокристаллов AlN появился ряд работ посвященных изучению их оптических свойств методами абсорбционной спектроскопии, катодо-, термо- и фотолюминесценции и др. [2 – 4]. Известно также, что матрицы на основе AlN могут быть использованы в качестве детекторов β- и УФ-излучений [5, 6]. Однако применение нитрида алюминия в твердотельной дозиметрии на основе методов термо- и оптически стимулированной люминесценции (ТЛ и ОСЛ) затруднено из-за существенного суточного фединга [5]. Одним из каналов указанных потерь информации о дозе во время длительного облучения и/или хранения являются процессы персистентной излучательной релаксации в AlN, которые регистрируются сразу после облучения [4]. В этой связи цель работы состояла в анализе дозовых зависимостей ОСЛ-параметров, измеренных в режиме непрерывной волны на фоне интенсивного послесвечения β-облученных монокристаллов AlN.

Исследовались монокристаллические образцы нитрида алюминия (ООО «Нитридные кристаллы»), полученные методом сублимации-реконденсации из мелкодисперсного промышленного порошка AlN при температурах 1900 – 2000 ^{o}C, в атмосфере азота при давлении не ниже 750 мм.рт.ст. Особенности методики синтеза образцов описаны в [7]. В окончательном виде образцы представляли собой диски диаметром 15 мм и толщиной 0.25 – 0.50 мм с поверхностью, готовой для эпитаксиального наращивания (epi-ready).

Люминесцентные исследования проводились на оригинальной спектрометрической установке. Для стимуляции ОСЛ применялся зеленый лазер с диодной накачкой (150 мВт, 532 нм), работающий в непрерывном режиме. Интенсивность стимулирующего лазерного излучения составляла 25 мВт/см^2. Свечение от образца проходило через набор оптических стекол, обеспечивающих полосу пропускания 3.25 эВ с полушириной 0.27 эВ, и регистрировалось фотоэлектронным умножителем ФЭУ-39А, работающим в счетном режиме. Методика эксперимента заключалась в предварительном облучении образцов β-излучением источника ^{90}Sr/^{90}Y дозой в диапазоне D = 2.7 – 960 мГр и последующим хранением в течение 5 мин в темноте при комнатной температуре. Далее велась запись ОСЛ

сигнала в течение 10 мин. Затем образец подвергался отжигу до 823 К. После чего цикл измерений повторялся для других значений дозы облучения *D*.

На рис. 1 представлены ОСЛ кривые при варьировании дозы β-облучения. Видно, что с ростом *D* интенсивность в начальный момент времени и светосумма увеличивается во всем исследуемом диапазоне доз.

При используемой методике измерений на ОСЛ сигнал накладывается послесвечение образцов, которое наблюдается при комнатной температуре после β-облучения [4]. Поэтому, анализ кинетических особенностей ОСЛ проводили выделяя полезный сигнала из экспериментальных зависимостей путем вычитания фона в виде кривых послесвечения, аппроксимированных затухающей экспонентой. Указанная методика обработки кривых ОСЛ обоснована и описана в [4], где показано, что через 5 мин после окончания облучения (перед началом лазерной стимуляции) основной вклад в послесвечение вносит только медленная компонента.

Таким образом, далее проводился анализ дозовых зависимостей для светосуммы (*S*) и максимальной интенсивности (*I*) OSL сигнала без учета и с учетом кривых послесвечения. Указанные характеристики приведены на рис. 2. Видно, что зависимость *S*(*D*) с учетом послесвечения является линейной с тангенсом угла наклона в двойных логарифмических координатах $k = 1.02 \pm 0.01$. Когда сигнал послесвечения не учитывается, зависимость *S*(*D*) является существенно нелинейной – $k = 0.87 \pm 0.01$. В тоже время, для зависимостей *I*(*D*) – $k = 0.97 \pm 0.03$ для обоих случаев. Таким образом, исследуемый ОСЛ сигнал от β-облученных монокристаллов AlN может быть использован для оценки поглощенной дозы.

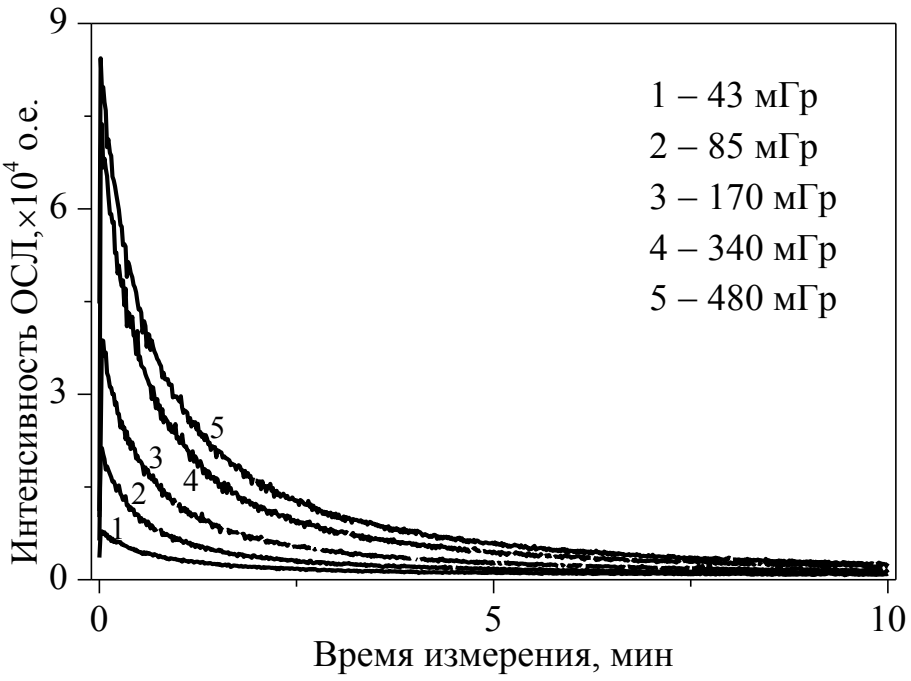


Рисунок 1. Экспериментальные ОСЛ кривые для β-облученного монокристалла AlN. Доза облучения указана на рисунке.

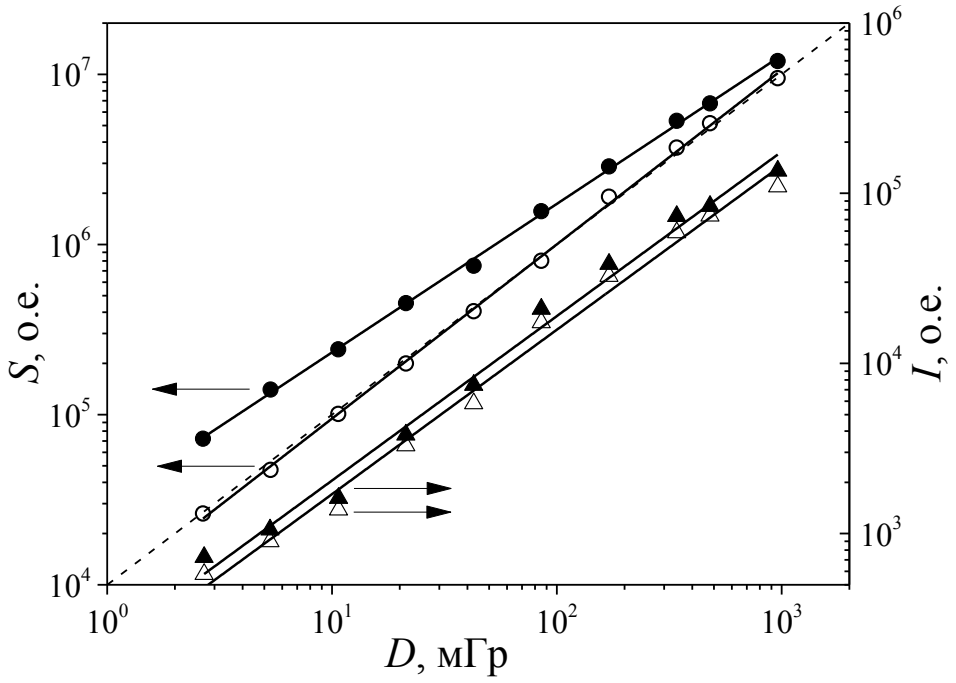


Рисунок 2. Дозовая зависимость ОСЛ β-облученного монокристалла AlN с (светлые символы) и без (темные символы) учета послесвечения. Сплошная линия – аппроксимация прямой; пунктирная линия – идеальная дозовая зависимость (k = 1).

Значительное влияние послесвечения на дозовые ОСЛ зависимости наблюдается также для порошкообразного и керамического AlN при облучении УФ светом [5, 8]. В тоже время, нелинейность дозовой зависимости в [5] связывают с федингом во время облучения. Отметим, что наблюдаемое послесвечение является одним из каналов фединга дозиметрической информации. В этой связи вышеприведенные данные указывают на необходимость учета послесвечения при использовании монокристаллов AlN в качестве детекторного материала для β-дозиметрии на основе оптически стимулированной люминесценции.

Выполнено исследование дозовых зависимостей параметров ОСЛ в β- облученных монокристаллах AlN. Получено, что соответствующие дозовые характеристики ОСЛ-отклика являются линейными ($k \approx 1$) после корректного учета наведенного послесвечения. Таким образом, исследуемые кристаллы могут быть использованы для детектирования β-излучения и решения прикладных задач твердотельной ОСЛ-дозиметрии.

Список литературы

1. *Teke A., Morkoc H.* Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials, edited by S. Kasap and P. Capper. NewYork: Springer, 2007. Chap. 32.
2. *Bickermann M., Epelbaum B. M., Filip O., Heimann P., Feneberg M., Nagata S., Winnacker A.* Deep-UV transparent bulk single-crystalline AlN substrates // Phys. Status Solidi C, 2010. V. 7. P. 1743-1745.
3. *Soltamov V.A., Ilyin I. V., Soltamova A.A., Tolmachev D.O., Mokhov E.N., Baranov P.G.* Identification of the deep-level defects in AlN single crystals: EPR and TL studies // Diamond Rel. Mater., 2011. V. 20. P. 1085-1089.
4. *Vokhmintsev A.S., Weinstein I.A., Spiridonov D.M.* Afterglow in bulk AlN single crystals under β-irradiation // J. Lumin., 2012. V. 132. P. 2109-2113.
5. *Trinkler L., Berzina B.* Advances in Ceramics – Characterization, Raw Materials, Processing, Properties, Degradation and Healing, edited by C. Sikalidis. InTech, 2011. Chap. 4.
6. *Weinstein I.A., Vokhmintsev A.S., Spiridonov D.M.* Thermoluminescence kinetics of oxygen-related centers in AlN single crystals. Diamond Rel. Mater., 2012. V. 25. P. 59-62.
7. *Mokhov E.N., Avdeev O.V., Barash I.S., T.Yu. Chemekova, Roenkov A.D., Segal A.S., Wolfson A.A., Makarov Yu.N., Ramm M.G., Helava H.* Sublimation growth of AlN bulk crystals in Ta crucibles // J. Crystal Growth, 2005. V. 281. P. 93-100.
8. *Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А., Спиридонов Д.М., Бекетов Д.А., Бекетов А.Р.* Кинетические особенности оптически стимулированной люминесценции в порошках нитрида алюминия // Письма в ЖТФ, 2012. Т. 38, вып. 4. С. 10-17.

01.02.04

Е.Ю. Макарова к.ф.-м.н., Ю.В. Соколкин д.ф.-м.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Аэрокосмический факультет,
кафедра механики композиционных материалов и конструкций,
Пермь, dopstu@yandex.ru

ЭФФЕКТИВНЫЕ УПРУГИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПОРИСТЫХ КОМПОЗИТОВ С УЧЕТОМ ЕСТЕСТВЕННОГО РАЗБРОСА СВОЙСТВ МАТРИЦЫ

Предложена нелинейная модель прогнозирования эффективных упругих свойств высокопористых композитов с учетом естественного разброса упругих свойств матрицы.

Ключевые слова: *эффективные упругие свойства, высокопористые композиты, локально-эргодическая модель.*

В работе [1] в рамках локально-эргодической модели микронеоднородной среды предложена нелинейная модель прогнозирования эффективных упругих свойств высокопористых композитов. Ниже предполагается обобщение указанного подхода с целью учета естественного разброса упругих свойств матрицы. В этом случае модель микронеоднородной среды описывается следующей зависимостью

$$\theta_{ijmn}(r) = \theta^{II}_{ijmn}(1-p)(1-\lambda(r)) \,, \tag{1}$$

где $\theta_{ijmn}(r)$— структурные модули упругости композита, θ^{II}_{ijmn} — случайные модули упругости матрицы, p — объемная пористость композита, $\lambda(r)$ — случайная индикаторная функция:

$$\lambda(r) = \begin{cases} 1 & \text{с вероятностью } p \\ 0 & \text{с вероятностью } (1-p) \end{cases}. \tag{2}$$

Предполагается, что поля упругих свойств $\theta_{ijmn}(r)$ и случайной индикаторной функции $\lambda(r)$ являются собственными, то есть отсутствует взаимная корреляция между полями.

Осредняя соотношение (1), находим математическое ожидание эффективных модулей упругости для модели Фойгта

$$C_{ijmn}(r) = \left\langle \theta_{ijmn}(r) \right\rangle = C^{II}_{ijmn}(1-p)^2 , \tag{3}$$

где обозначено $C^{II}_{ijmn} = \left\langle \theta^{II}_{ijmn} \right\rangle$.

Обозначим через Π_{ijnm} коэффициенты податливости микронеоднеоднородной среды. Тогда между модулями упругости и коэффициентами податливости существует следующее соотношение

$$\theta_{ij\alpha\beta}(r)\Pi_{\alpha\beta mn}(r) = I_{ijmn} \,, \tag{4}$$

где через I_{ijmn} обозначен единичный тензор четвертого ранга:

$$\mathrm{I}_{\mathrm{ijmn}}=\frac{1}{2}\left(\delta_{\mathrm{im}}\delta_{\mathrm{jn}}+\delta_{\mathrm{in}}\delta_{\mathrm{jm}}\right).$$

Наложим на условие (4) более слабое ограничение и потребуем его выполнения в среднем, то есть, иначе говоря, осредним соотношение (4).

Имеем

$$\left\langle \theta_{\mathrm{ij}\alpha\beta}(\mathrm{r})\Pi_{\alpha\beta\mathrm{mn}}(\mathrm{r})\right\rangle=\mathrm{I}_{\mathrm{ijmn}}. \tag{5}$$

Исходя из соотношения (5), построим теперь нелинейную модель для коэффициентов податливости. В результате находим

$$\Pi_{\mathrm{ijmn}}(\mathrm{r})=\Pi^{\mathrm{II}}_{\mathrm{ijmn}}\frac{\left(1+\overset{\circ}{\lambda}(\mathrm{r})\right)}{(1-\mathrm{p})^3};\qquad \overset{\circ}{\lambda}=\lambda-\mathrm{p}. \tag{6}$$

Перемножая соотношения (1) и (6), произведя свертывание по соответствующим индексам и осредняя полученные выражения, убеждаемся в том, что соотношение (5) действительно выполняется.

Из уравнения (6) находим эффективные коэффициенты податливости для модели Рейса

$$\left\langle \Pi_{\mathrm{ijmn}}\right\rangle=\Pi^{\mathrm{II}}_{\mathrm{ijmn}}\frac{1}{(1-\mathrm{p})^3}. \tag{7}$$

Если приближение Фойгта (3) дает нам верхнюю оценку эффективных модулей упругости, то приближение Рейса (7) — соответственно нижнюю оценку эффективных модулей упругости.

Согласно теории [2], истинные значения эффективных модулей лежат внутри этой вилки. Вычислим теперь корреляционную поправку с учетом естественного разброса свойств матрицы. Для этого будем предполагать, что микронеоднородная среда квазимакроскопически однородна и квазиизотропна [2].

Вычислим теперь моментную функцию второго порядка структурных модулей упругости на основе модели (1). Из формул (1) и (3) находим пульсации структурных модулей упругости

$$\overset{\circ}{\theta}_{ijmn}(r)=\overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{ijmn}(1-p)^2-\left(C^{II}_{ijmn}+\overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{ijmn}\right)(1-p)\overset{\circ}{\lambda}(r). \tag{8}$$

Из (8) находим моментную функцию второго порядка стандартным способом

$$\mathrm{K}_{ijmn,\,pqrs}(r_1,r_2)=\left\langle \overset{\circ}{\theta}_{ijmn}(r_1)\overset{\circ}{\theta}_{pqrs}(r_2)\right\rangle=$$

$$\mathrm{K}^{II}_{ijmn,\,pqrs}\left(1-p^4\right)+\left(C^{II}_{ijmn}C^{II}_{pqrs}+\left\langle \overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{ijmn}\overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{pqrs}\right\rangle\right)\left(1-p^2\right)\mathrm{K}_{\lambda}(r_1,r_2). \tag{9}$$

Из соотношения (9) видно, что моментная функция второго порядка состоит из двух слагаемых. Первое слагаемое представляет собой локально–эргодическую функцию, так как функция $\mathrm{K}_{\lambda}(r_1,r_2)$ – локально эргодическая и отлична от нуля в окрестности первого

порядка малости и равна нулю вне этой окрестности. Второе слагаемое составляет постоянную составляющую поля и оно не зависит от координат. Следовательно, имеем:

$$\underset{r_1,r_2\to\infty}{K_{ijmn,pqrs}(r_1,r_2)} = K^{II}_{ijmn,pqrs}\left(1-p^4\right). \tag{10}$$

Из соотношения (10) вытекает то свойство моментной функции второго порядка структурных модулей упругости, что эта функция является квазилокально-эргодической, а производная этой функции — локально-эргодическая.

Напомним теперь основное свойство микронеоднородных деформируемых сред. Если микронеоднородная среда квазимакроскопически однородна и квазиизотропна, перемещения границы S тела V, имеющего конечные размеры детерминированы, дисперсии физических свойств микронеоднородной среды, имеющей конечные размеры, детерминированы, средние деформации $e_{ij} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle$ — макроскопически гладкие функции координат, граничные условия — детерминированы, то существует случайный функционал $\tilde{\Phi}_{ijmn}(\theta)$, зависящий от упругих свойств элементов структуры, что пульсации структурных деформаций $\overset{\circ}{\varepsilon}_{ij}$ связаны со средними деформациями e_{ij} следующим соотношением:

$$\overset{\circ}{\varepsilon}_{ij}(r) = \tilde{\Phi}_{ij\alpha\beta}(\theta)e_{\alpha\beta}. \tag{11}$$

На основании формулы (11) вычисляются эффективные модули упругости квазиизотропного композита:

$$C^*_{ijmn} = C^{II}_{ijmn}(1-p)^2 - \frac{4\pi}{3}\left(A+\frac{B}{5}\right)\left[C^{II}_{ij\alpha\beta}C^{II}_{\alpha\beta mn} + \left\langle \overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{ij\alpha\beta}\,\overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{\alpha\beta mn}\right\rangle\right](1-p)^3 p +$$

$$+\frac{8\pi}{15}B\left[C^{II}_{ij\alpha\alpha}C^{II}_{\beta\beta mn} + \left\langle \overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{ij\alpha\alpha}\,\overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{\beta\beta mn}\right\rangle\right](1-p)^3 p. \tag{12}$$

Материальные постоянные *A* и *B* определяются через средние модули упругости микронеоднородной среды:

$$A = \frac{C_{1122}+3C_{2323}}{8\pi C_{2323}(C_{1122}+2C_{2323})};\quad B = \frac{C_{1122}+C_{2323}}{8\pi C_{2323}(C_{1122}+2C_{2323})}. \tag{13}$$

Формула (13) представляет собой общую формулу для расчета эффективных модулей упругости квазимакроскопически однородных квазиизотропных сред в корреляционном приближении.

Вычислим теперь свертки соответствующих тензоров четвертого и восьмого ранга:

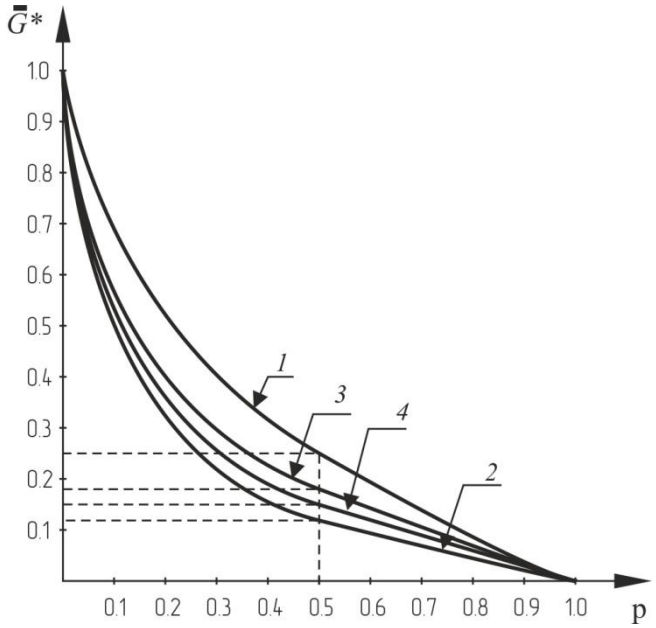
$$C^{II}_{ij\alpha\beta}C^{II}_{\alpha\beta mn} = 3K^2\delta_{ij}\delta_{mn} + 2G^2\left(\delta_{im}\delta_{jn} + \delta_{in}\delta_{jm} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\delta mn\right),$$

$$\left\langle \overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{ij\alpha\beta}\ \overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{\alpha\beta mn} \right\rangle = 3D_K\delta_{ij}\delta_{mn} + 2D_G\left(\delta_{im}\delta_{jn} + \delta_{in}\delta_{jm} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\delta_{mn}\right). \qquad (14)$$

$$C_{ij\alpha\alpha} = 3K\delta_{ij};\ \ C_{\alpha\alpha mn} = 3K\delta_{mn};\ \left\langle \overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{ij\alpha\alpha}\ \overset{\circ}{\theta}{}^{II}_{\beta\beta mn} \right\rangle = 9D_K\delta_{ij}\delta_{mn}.$$

Выше через K и G обозначены соответственно модуль объемного сжатия и модуль сдвига матрицы, через D_K и D_G — соответственно дисперсии модулей объемного сжатия и сдвига матрицы.

На рисунке построены зависимости от пористости относительного эффективного модуля сдвига $\frac{G^*}{G^{II}} = \overline{G}^*$, $G^* = C^*_{2323}$, рассчитанные по модели Фойгта (зависимость 1), по модели Рейса (зависимость 2), с учетом корреляционной поправки без учета естественного разброса упругих модулей матрицы (зависимость 3), так и с их учетом (зависимость 4), когда коэффициенты вариации объемного модуля и модуля сдвига приняты равными 40%.



Рисунок

Список литературы

1. *Макарова Е.Ю., Соколкин Ю.В., Чекалкин А.А.* Структурно-феноменологические модели прогнозирования упругих свойств высокопористых композитов// Вестник Самарского государственного технического университета. — 2010. – № 5. – С. 276 – 279.

2. *Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А.* Механика деформирования и разрушения структурно-неоднородных тел.— М.: Наука, 1984. — 116 с.

01.04.02

А.В. Михайлов, В.Л. Шаблов д.ф.-м.н.

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ",
г.Обнинск, Shablov@iate.obninsk.ru

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БОРНОВСКИЕ РЯДЫ В ПРЕДСТАВЛЕНИИ ИСКАЖЕННЫХ ВОЛН В КВАНТОВОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ЧАСТИЦ С ЧИСТО КУЛОНОВСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Разработан метод частичного суммирования модифицированных борновских рядов, задающих разложение в ряд по кратности взаимодействия амплитуды процесса развала в системе 3-х частиц с чисто кулоновским взаимодействием, который приводит к представлению искаженных волн для этой амплитуды и новому приближению искаженных волн.

Ключевые слова: *квантовая теория рассеяния, кулоновское взаимодействие, амплитуда перехода, борновские ряды, метод искаженных волн, приближение искаженных волн.*

В предыдущей статье [1] был разработан метод выделения трехчастичных кулоновских сингулярностей в членах ряда теории возмущений для матричных элементов Т-оператора перехода из некоторого бинарного канала реакции в канал развала в системе трех частиц с чисто кулоновским взаимодействием, который позволил получить разложение для амплитуды процесса развала в модифицированные борновские ряды, члены которых регулярны на энергетической поверхности.

$$t_{0\alpha}\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma,\bar{p}_\alpha^0,E+i0\right)=\frac{e^{-\frac{\pi}{2}\eta}}{\Gamma(1-i\eta)}\left(\sum_\beta\frac{\eta_\beta}{\eta}e^{iA_0\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma\right)-i\eta\ln 4E_\beta}\right)\times$$
$$\times\left(\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle+\sum_{n=1}^{\infty}\tilde{R}_n\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma\right)\right) \qquad (1)$$

В (1) использованы те же обозначения, что и в [1], т.е. $\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle$ есть амплитуда традиционного плосковолнового борновского приближения для амплитуды перехода из бинарного канала α с in -асимптотой $|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle$ в канал развала, описывающийся координатами Якоби $\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma$ ($\bar{k}_\gamma$ - относительный импульс частиц в паре γ, $\bar{p}_\gamma$- относительный импульс третьей частицы и центра масс пары γ), η_γ - кулоновский параметр для этой пары, $\eta=\sum_\gamma\eta_\gamma$ - кулоновский параметр системы и т.д.

Процедура вывода модифицированного борновского ряда (1) позволяет осуществить частичное суммирование ряда $\sum_{n=1}^{\infty}\tilde{R}_n\left(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma\right)$. С этой целью воспользуемся асимптотическими свойствами матричных элементов двухчастичного кулоновского оператора $t(Z)$ при выходе параметра Z на энергетическую поверхность [3]

$$\frac{e^{-\frac{\pi}{2}\eta}}{\Gamma(1-i\eta)}\lim_{Z\to E+i0}\frac{(Z-E)^{-i\eta}}{4E}\langle\bar{k}|[I+t(Z)g_0(Z)]|\bar{r}\rangle=\langle\bar{k}-|\bar{r}\rangle \qquad (2)$$

В формуле (2) $\langle\bar{k}-|\bar{r}\rangle$ - двухчастичное кулоновское состояние рассеяния с асимптотикой в виде сходящихся сферических волн, E - энергия этого состояния, η - соответствующий двухчастичный кулоновский параметр, $g_0(Z)$ - свободная двухчастичная функция Грина.

Представление (2) является частным случаем общей формулы для волновых операторов многочастичного кулоновского рассеяния [2]

$$\Omega_{\pm\alpha}|\bar{p}_\alpha\rangle = \frac{e^{-\frac{\pi}{2}\eta_\alpha \pm iA_\alpha(\bar{p}_\alpha)}}{\Gamma(1 \mp i\eta_\alpha)} \lim_{\varepsilon\to 0}(\pm i\varepsilon)^{\mp i\eta_\alpha} \times$$
$$\times [I + G(E_\alpha + i\varepsilon)V^\alpha]|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha\rangle \qquad (3)$$

В (3) $|\bar{p}_\alpha\rangle$ - плоская волна, описывающая столкновение фрагментов в канале α, $|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha\rangle$ - in-асимптота этого канала с канальным гамильтонианом H_α, так что $H_\alpha|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha\rangle = E_\alpha|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha\rangle$, $G(Z) = (Z-H)^{-1}$ - полная функция Грина системы с гамильтонианом H, $V^\alpha = H - H_\alpha$, η_α - кулоновский параметр канала, равный сумме парных кулоновских параметров фрагментов, сталкивающихся в этом канале: $\eta_\alpha = \sum_{\beta,\gamma}\eta_{\beta,\gamma}$, $A_\alpha = \sum_{\beta,\gamma}\eta_{\beta,\gamma}\, ln4E_{\beta,\gamma}$ - фаза Долларда канала α, $E_{\beta,\gamma}$ - кинетическая энергия относительного движения пары фрагментов β и γ. В обозначениях формулы (3) представление (2) записывается следующим образом

$$\langle\bar{k}_-|\bar{r}\rangle = \langle\bar{k}|\omega_-^+|\bar{r}\,,\rangle \qquad (2')$$

где ω_- - двухчастичный волновой оператор кулоновского рассеяния.

Для матричных элементов $\langle\bar{k}|I + t(Z)g_0(Z)|\bar{r}\rangle$, где $f(\bar{k}') = \langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\gamma,\bar{p}_\alpha^0\rangle$, описанным в [1] способом можно построить модифицированный борновский ряд. Члены этого ряда для каждой пары β можно выделить в сумме $\sum_{n=1}^{\infty}\tilde{R}_n(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma)$ по аналогии с тем, как строятся серии Борна-Ватсона в задаче 3-х тел [4]. С учетом (2) для $t_{0\alpha}$ в результате получается следующее приближенное выражение

$$\frac{e^{-\frac{\pi}{2}\eta}}{\Gamma(1-i\eta)}\left(\sum_\beta \frac{\eta_\beta}{\eta} e^{iA_0(\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma)-i\eta\ln 4E_\beta}\right)\times$$
$$\times\left(\sum_\beta e^{\frac{\pi}{2}\eta_\beta}\Gamma(1-i\eta_\beta)\langle\bar{k}_{\beta^-},\bar{p}_\beta|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle - 2\langle\bar{k}_\gamma,\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle\right), \qquad (4)$$

которое является лидирующим членом модифицированного борновского ряда для $t_{0\alpha}$ в представлении искаженных волн. Если в двух парах частиц кулоновские параметры исчезающе малы, то результат (4) приводится к выражению для традиционного приближения искаженных волн, в котором в качестве искажающего потенциала используется кулоновский потенциал в оставшейся паре γ [5-7]

$$\langle\bar{k}_{\gamma^-},\bar{p}_\gamma|T_0|\Psi_\alpha,\bar{p}_\alpha^0\rangle \qquad (5)$$

Отметим, что выражение (4) является регулярным на энергетической поверхности лидирующим членом борновского ряда в представлении искаженных волн, сумма которого содержит кулоновскую сингулярность вида $(Z-E)^{i\eta-i\eta_\gamma}$ [2,10]. Таким образом, приближение (4) является обобщением и одновременно обоснованием приближения (5) для систем частиц с кулоновским взаимодействием.

Хотя все предыдущее рассмотрение относилось к системе трех частиц с конечными массами, полученные результаты можно перенести на систему двух заряженных частиц во внешнем кулоновском поле. В частности, остается справедливым основной результат работы [1] - выражение для амплитуды процесса развала (1), как и приближение искаженных волн (4). В то же время для системы двух частиц во внешнем поле существует еще одно приближенное выражение, которое получается частичным суммированием ряда $\sum_{n=1}^{\infty}\tilde{R}_n(\bar{k}_1,\bar{k}_2)$ специального вида. Выделим в этом ряду слагаемые, в которых

фигурируют только потенциалы V_1 и V_2 взаимодействия частиц с силовым центров. Те же самые слагаемые возникают при выделении кулоновских сингулярностей в борновских рядах, задающих матричные элементы

$$\langle \bar{k}_1, \bar{k}_2 \big| I + (V_1 + V_2) G_{1,2}(Z) \big| f \rangle \qquad (6)$$

с участием функции Грина невзаимодействующих частиц $G_{1,2}(Z) = (Z - H_0 - V_1 - V_2)^{-1}$. Как и ранее, состояние $|f\rangle$ есть $T_0|\Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0\rangle$. При выходе параметра $Z \to E + i0$ ($E = \frac{k_1^2}{2m_1} + \frac{k_2^2}{2m_2}$) имеет место следующее соотношение

$$\frac{e^{-\frac{\pi}{2}(\eta_1+\eta_2)}}{\Gamma(1 - i\eta_1 - i\eta_2)} \lim_{Z \to E+i0} (Z - E)^{-i(\eta_1+\eta_2)} e^{i\eta_1 ln4E_1 + i\eta_2 ln4E_2} \times$$
$$\times \langle \bar{k}_1, \bar{k}_2 \big| \big[I + (V_1 + V_2) G_{1,2}(Z) \big] \big| \bar{r}_1, \bar{r}_2 \rangle = \langle \bar{k}_1 - | \bar{r}_1 \rangle \langle \bar{k}_2 - | \bar{r}_2 \rangle \qquad (7)$$

которое является следствием формул (2), (2') и (3) и представления волновых операторов невзаимодействующих частиц [8,9]

$$\Omega_{\pm 1,2} = \omega_{\pm 1} \omega_{\pm 2} \,, \qquad (8)$$

где $\omega_{\pm i}$ - волновой оператор рассеяния i −ой частицы силовым центром.

Комбинируя выражения (1), (6) и (7), приходим к искомому приближенному выражению для амплитуды

$$\frac{e^{-\frac{\pi}{2}\eta}}{\Gamma(1 - i\eta)} \left(\sum_\beta \frac{\eta_\beta}{\eta} e^{iA_0(\bar{k}_1, \bar{k}_2) - i\eta \ln 4E_\beta} \right) \times$$
$$\times \left(N_{1,2}^{-1} e^{\frac{\pi}{2}(\eta_1+\eta_2)} \Gamma(1 - i\eta_1 - i\eta_2) \langle \bar{k}_{1^-}, \bar{k}_{2^-} | T_0 | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle + \right. \qquad (9)$$
$$\left. + e^{\frac{\pi}{2}\eta_{12}} \Gamma(1 - i\eta_{12}) \langle \bar{k}_{12^-}, \bar{K}_{12} | T_0 | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle - \langle \bar{k}_1, \bar{k}_2 | T_0 | \Psi_\alpha, \bar{p}_\alpha^0 \rangle \right)$$

В соотношении (8) $\beta = 1,2,12$, $\bar{K}_{12} = \bar{k}_1 + \bar{k}_2$ - импульс центра масс пары 12, $\eta = \eta_1 + \eta_2 + \eta_{12} = \frac{\lambda_1 m_1}{k_1} + \frac{\lambda_2 m_2}{k_2} + \frac{\lambda_{12} \mu_{12}}{k_{12}}$, а величина $N_{1,2}$ задана соотношением

$$N_{1,2} = \left(\frac{\eta_1}{\eta_1 + \eta_2} e^{-i(\eta_1+\eta_2) ln4E_1} + \frac{\eta_2}{\eta_1 + \eta_2} e^{-i(\eta_1+\eta_2) ln4E_2} \right) \times$$
$$\times e^{i\eta_1 ln4E_1 + i\eta_2 ln4E_2} \qquad (10)$$

Представления (4) и (10) задают амплитуду развала в системах 3-х частиц с конечными массами и 2-х частиц во внешнем силовом поле с чисто кулоновскими парными потенциалами взаимодействия в борновском приближении искаженных волн (DWBA), причем эти представления содержат искаженные волны для истинных потенциалов. Последнее обстоятельство отличает разработанные представления от других вариантов борновского приближения искаженных волн для этой амплитуды, большинство из которых восходит к различным модификациям метода эффективных зарядов Петеркопа и, следовательно, используют искаженные волны для некоторых эффективных двухчастичных и многочастичных потенциалов [11,12].

Список литературы

1. *Михайлов А.В., Шаблов В.Л.* // Научно-технический вестник Поволжья. - 2012. - №5. - с. 32-40.
2. *Шаблов В.Л., Виницкий П.С., Попов Ю.В., О. Чулуунбаатар, Кузаков К.А.* // ЭЧАЯ.- 2010.- т.41.- Вып.2.- с. 607-650.
3. *Okubo S., Feldman D.* // Phys. Rev. - 1960. - v.117. - p.292-326.
4. *Шмид Э., Цигельман Х.* Проблема трех тел в квантовой механике. -М., Наука, 1979.
5. *Друкарев Г.Ф.* Столкновения электронов с атомами и молекулами. - М., Наука, 1978.
6. *Тейлор Дж.* Теория рассеяния. - М., Мир, 1975.
7. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Квантовая механика. - М., Наука, 1974.
8. *Комаров В.В., Попова А.М., Шаблов В.Л.* Динамика систем нескольких квантовых частиц. - М., изд-во Московского ун-та, 1996.
9. *Комаров В.В., Попова А.М., Шаблов В.Л.* // ЭЧАЯ. - 1983. - т.14. - вып.2. - с.329-372.
10. *Bilyk V.A., Popov Yu.V., Shablov V.L.* // Phys. Rev. A. - 2002. - v.65. - 042719.
11. *Петеркоп Р.К.* Теория ионизации атомов электронным ударом – Рига, Зинатне,1975.
12. *Шаблов В.Л., Билык В.А., Попов Ю.В.*// Фунд. и прикл. математика. – 2002 . – Т.8. – С.559- 566.

01.04.07

[1]И.М. Морсаков, [1,2]А.В. Солнышкин д.ф.-м.н., [1]А.А. Богомолов д.ф.-м.н., [3]И.Л. Кислова к.ф.-м.н., [2]М.В. Силибин к.т.н., [4]Д.А. Киселев к.ф.-м.н., [2]В.В. Шварцман к.ф.-м.н., [2]О.М. Сеньченко

[1]Тверской государственный университет,
физико-технический факультет, кафедра физики сегнето- и пьезоэлектриков,
Тверь

[2]Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
факультет электронных технологий, материалов и оборудования,
кафедра материаловедения и физической химии,
Москва, Зеленоград

[3]Тверской государственный технический университет,
факультет информационных технологий, кафедра информатики и прикладной математики,
Тверь

[4]Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
институт новых материалов и нанотехнологий,
кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков,
Москва, sil_m@mail.ru

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ P(VDF-TrFE) С СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КЕРАМИКОЙ

В работе изучены диэлектрические свойства композитных образцов на основе сополимера винилиденфторида с трифторэтиленом P(VDF-TrFE) с включениями керамики цирконата титаната бария свинца (ЦТБС). Определены зависимости диэлектрической проницаемости от объемного содержания керамики и дисперсия диэлектрических характеристик.

Ключевые слова: *диэлектрические свойства, полярный полимер, сегнетоэлектрическая керамика, композиционный материал.*

Полярные полимеры и композиты на их основе можно отнести к перспективным материалам для создания дешевых функциональных элементов современной сенсорной техники, обладающих повышенной чувствительностью за счет управляемых свойств, связанных с дипольным упорядочением полимерной матрицы [1, 2]. Кроме того, можно изготавливать сенсорные элементы на основе вышеуказанных материалов большой площади и различной конфигурации, обусловленной их механической эластичностью. По сравнению с неорганическими полярными средами, включая кристаллы, полимерные материалы обладают дополнительными степенями свободы [3], связанными с их структурой, что значительно расширяет возможности их использования.

Целью данной работы являлось изготовление пленочных образцов композитного материала на основе сополимера P(VDF-TrFE) с различным уровнем содержания включений керамики системы цирконата титаната бария свинца (ЦБТС) и определение диэлектрических характеристик.

Для приготовления образцов пленок сополимера был использован метод кристаллизации из раствора. Порошок сополимера P(VDF-TrFE) с 30%-ым содержанием трифторэтилена растворялся в смеси диметилсульфоксида и ацетона. Перед началом процесса кристаллизации в раствор добавлялся порошок керамики. Получены образцы, содержащие

$10 \div 50$ объемных процентов включений ЦТБС. Толщина полученных пленочных образцов варьировалась в пределах $20 \div 100$ мкм в зависимости от процентного содержания наполнителя.

Изучение диэлектрических свойств композитных пленок в частотном интервале $10^{-1} \div 10^{7}$ Гц были выполнены с помощью универсального измерительного моста Novocontrol ALPHA High-Resolution Dielectric Analyzer, оборудованного системой Novocontrol QUATRO cryosystem для низкотемпературных измерений. Дисперсия комплексной диэлектрической проницаемости $\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon''$ (где ε' – действительная часть ε^*, а ε'' – ее мнимая часть) была исследована в области температур от –50° до 140°С.

В ходе проведенных исследований установлено, что наличие включений сегнетоэлектрической керамики в полимерной матрице P(VDF-TrFE) оказывает значительное влияние на диэлектрические свойства композита, в частности, увеличение содержания керамического наполнителя приводит к росту ε (рис. 1).

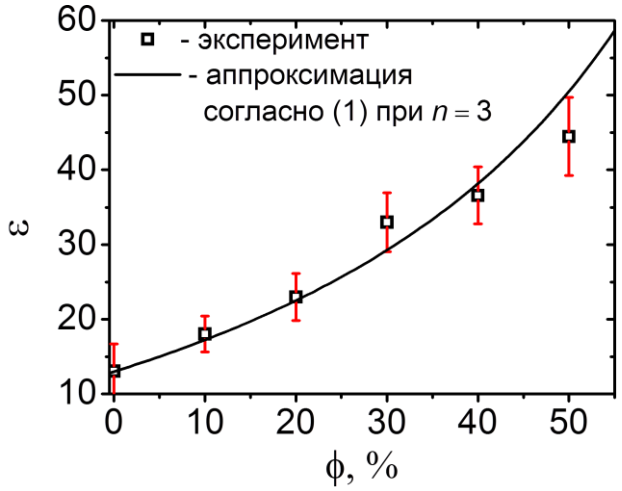


Рис. 1 – Концентрационные Зависимости диэлектрической проницаемости для композитных пленок P(VDF-TrFE) + ЦТБС Измерения выполнены на частоте 10^3 Гц.

Наиболее хорошо экспериментальные данные в этом случае описывает модель, предложенная в работе [4]. Авторы рассмотрели композитный материал как бинарную систему, состоящую из сплошной среды с диэлектрической проницаемостью ε_1 и эллипсоидальных включений в сплошную матрицу с диэлектрической проницаемостью ε_2. Согласно [4] диэлектрическая проницаемость композита описывается соотношением:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \left\{ 1 + \frac{nq(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{n\varepsilon_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)(1-q)} \right\}, \qquad (1)$$

где q – объемное содержание эллипсоидальных частиц в композите ($0 \le q \le 1$), параметр n определяется формой включений. Для иглообразных включений, ориентированных длинными осями по полю, величина n больше 3. Для включений сферической формы параметр n равен 3.

Аппроксимация концентрационных зависимостей диэлектрической проницаемости композитных материалов P(VDF-TrFE) + ЦТБС (рис. 1) проведена при значениях $\varepsilon_1 = 12$ и $\varepsilon_2 = 2050$, а также при значении параметра $n = 3$. Последнее свидетельствует о том, что форма включения керамики ЦТБС в полимерной матрице близка к сферической. Необходимо отметить, что соотношение (1) при значении $n = 3$ переходит в известное соотношение Максвелла-Гарнетта, описывающее двухфазную композитную систему в рамках модели среднего поля [5].

Дисперсионные зависимости диэлектрических параметров композитных пленок зависят от процентного содержания включений керамики ЦТБС (рис. 2).

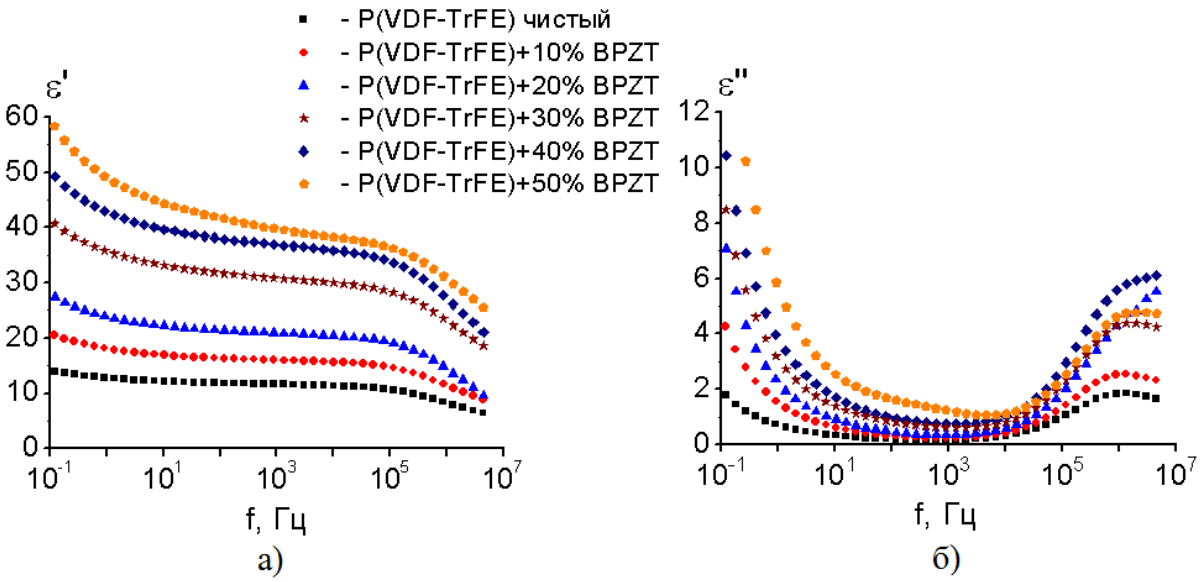


Рис. 2. Частотные зависимости вещественной (а) и мнимой (б) частей комплексной диэлектрической проницаемости композитных пленок P(VDF-TrFE) с различным процентным содержанием включений BPZT. Температура измерений равна 25°C.

Как видно из представленных на рисунке кривых, наличие зерен керамики в целом не меняет характер частотных зависимостей диэлектрических параметров, однако во всем частотном диапазоне значения диэлектрических характеристик растут с увеличением содержания керамики. В области низких частот (f<10^3 Гц) влияние сегнетоэлектрических зерен на диэлектрическое поведение композитных пленок более существенное, чем для высокочастотного диапазона. Это связано с увеличением проводимости исследуемых образцов при добавлении керамики ЦТБС.

Температурное поведение диэлектрических характеристик композитных пленок P(VDF-TrFE) + BPZT определяется в основном откликом полимерной матрицы (рис. 3).

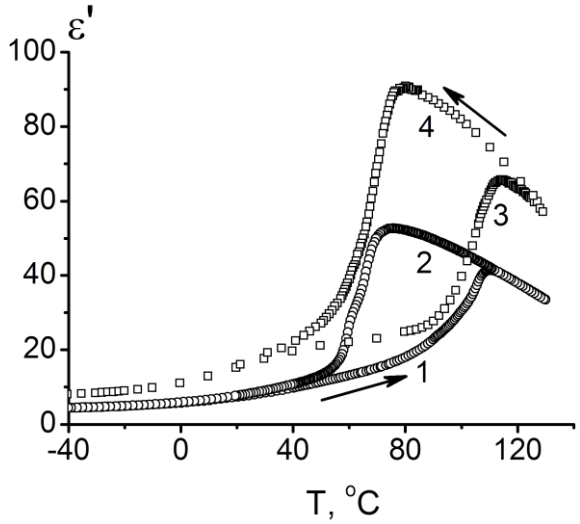


Рис. 3. Зависимости вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости от температуры для образцов сополимера P(VDF-TrFE) (кривые 1, 2) и композита P(VDF-TrFE) + 20% ЦТБС (кривые 3, 4).

Наличие включений керамики ЦТБС в композитных пленках приводит к смещению температуры фазового перехода в высокотемпературную область, как в процессе нагрева, так и при охлаждении, тем самым увеличивается область существования сегнетоэлектрического состояния. В частности, 20-ти процентная добавка цирконата титаната бария свинца вызывает сдвиг максимума диэлектрической проницаемости приблизительно на 6 °C.

Возможной причиной наблюдаемого сдвига температуры фазового перехода является внутреннее поле, возникающее при внедрении поляризованных зерен керамики в полимерную матрицу, что ведет к большей устойчивости полярного состояния. Необходимо отметить, что в области низких частот ($f < 10^3$ Гц) из-за больших диэлектрических потерь, обусловленных повышенной проводимостью исследуемых образцов, в высокотемпературной области (T>70°C) не удается наблюдать аномалии, связанные с сегнетоэлектрическим фазовым переходом.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», соглашение № 14.B37.21.1989, 14.B37.21.1209, 14.B37.21.0390 и при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-08-31404.

Список литературы

1. *Barber P.* Polymer Composite and Nanocomposite Dielectric Materials for Pulse Power Energy Storage / *Barber P., Balasubramanian S., Anguchamy Y., Gong S., Wibowo A., Gao H., Ploehn H.J., zur Loye H.-C.* // Materials. – 2009. Vol. 2. – P. 1697-1733
2. *Мамедов Г.А.* Пьезоэлектрические композиты с высокой устойчивостью пьезомодуля к воздействиям механического и температурного полей / *Мамедов Г.А., Панич А.Е., Курбанов М.А., Султанахмедова И.С., Мехтили А.А., Яхъяев Ф.Ф., Татардар Ф.Н.* // ФТТ. – 2010. Т. 52. – С. 1067.
3. *Ploss B.* Doped Polymers as Matrix Materials for Ferroelectric Composites / *Ploss B., Krause M.* // Ferroelectrics. – 2007. Vol. 358, № 1. – P. 77 – 84.
4. *Yamada T.* Primary and Secondary Pyroelectric Effects in Ferroelectric 0-3 Composites / *Yamada T., Ueda T., Kitayama T.* // J. Appl. Phys. – 1982. Vol. 53, № 4. – P. 4328 – 4332.
5. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.

01.04.01

М.А. Полоус, В.И. Ярыгин д.т.н.

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ",
г. Обнинск, m.polous.a@gmail.com

МЕТОДИКА ТРЕХМЕРНОГО РАСЧЕТА ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

С помощью разработанного программного кода конечно-элементного анализа решается задача трехмерного численного моделирования тепловых и электрических процессов в экспериментальном термоэмиссионном преобразователе, предназначенном для ресурсных испытаний эффективных электродных материалов.

Ключевые слова: *термоэмиссионный преобразователь, метод конечных элементов, сопряженный расчет.*

Обоснование проектных решений термоэмиссионных ядерных энергетических установок (ЯЭУ) нового поколения выявило необходимость создания современного программного обеспечения для проведения сопряженных расчетов тепловых и электрических характеристик электрогенерирующих каналов (ЭГК) и термоэмиссионных электрогенерирующих систем (ТЭС) с учетом реальной геометрической структуры их конструктивных элементов и разнообразия физических свойств материалов моделируемых устройств на основе математически корректных методов. В настоящее время совершенствование методик расчета выходных характеристик ЭГК и ТЭС сводится, в основном, к сохранению созданных ранее методик и их адаптации под современную вычислительную технику. Отсутствие развития в данном направлении может существенно затруднить проектные работы по перспективным ЯЭУ прямого преобразования энергии со сложной геометрией конструктивных элементов. Поэтому одной из актуальных задач, возникающих при разработке и совершенствовании термоэмиссионных ЯЭУ нового поколения, является развитие методик расчета, учитывающих как новые экспериментальные данные о характеристиках электродов, так и более сложную геометрическую структуру ЭГК, характеризующуюся большим набором тепловых сред разной теплопроводности, сложной формой электродных оболочек, коммутационных перемычек и других конструкционных элементов.

В результате модификации современного программного кода конечно-элементного анализа COMSOL Multiphysics [1, 2] разработан программный код COMSOL-ЭГК, реализующий методику сопряженного расчета тепловых и электрических характеристик сложных по геометрии и структуре устройств термоэмиссионного преобразования энергии на основе трехмерной математической модели с возможностью использования дискретных экспериментальных данных о вольтамперных характеристиках (ВАХ) термоэмиссионного преобразователя (ТЭП). Разработанный программный код COMSOL-ЭГК предназначен для численного моделирования пространственно двумерных нестационарных полей температуры, электрического потенциала и плотности генерируемого тока в устройствах с термоэмиссионным преобразованием энергии. Это могут быть как реакторные ЭГК и отдельные их элементы, так и экспериментальные стенды с опытными образцами ТЭП с неядерным нагревом. В численный алгоритм кода внедрены алгоритмы решения уравнений методом конечных элементов (МКЭ) для электрического потенциала, генерации тока, переноса энергии тепловым излучением и электронами эмиссии, джоулева тепловыделения в электропроводящих материалах. Простая структура программного комплекса обеспечивает простоту и гибкость его использования. Следует отметить, что программный код

COMSOL-ЭГК может взаимодействовать с программным кодом MATLAB.

В настоящей работе с помощью разработанного программного кода COMSOL-ЭГК решается задача трехмерного численного расчета тепловых и электрических процессов в экспериментальном лабораторном ТЭП, предназначенном для ресурсных испытаний эффективных электродных материалов. Рассматриваемое устройство имеет сложную структуру из разнородных и взаимосвязанных элементов, в состав которых входит электрический нагреватель эмиттера и радиатор – холодильник коллектора. Особенности конструкции лабораторного ТЭП обуславливают значительные пространственные неравномерности тепловых потоков и температуры в элементах устройства, что приводит к невозможности использования упрощенных одномерных моделей для расчета электротеплофизических характеристик ТЭП без существенной потери точности.

COMSOL-ЭГК – программа для конечно-элементных расчётов сложных научно-технических задач. Решение любой задачи базируется на численном решении уравнений в частных производных методом конечных элементов в одно-, двух- и трехмерных измерениях. Программное обеспечение запускает конечно-элементный анализ вместе с расчетной сеткой, учитывающей геометрическую конфигурацию тел, и контролем ошибок с использованием разнообразных численных решателей. Этапы моделирования задачи трехмерного расчета выходных характеристик лабораторного ТЭП проводились в следующей последовательности:

– выбор размерности физической модели и определение физического раздела (сопряженный стационарный анализ температурных и электрических полей);

– определение рабочей области и построение геометрической модели лабораторного ТЭП;

– задание дискретных экспериментальных данных о ВАХ ТЭП, либо импорт данных многомерной аппроксимации из программного кода MATLAB;

– указание теплофизических и электромагнитных свойств конструкционных материалов и начальных условий;

– задание граничных условий (объемные источники тепла, тепловые потоки через моделируемые поверхности ТЭС, источники электрического тока, заземление и др.);

– генерация конечно-элементной расчетной сетки модели;

– определение параметров решающего устройства и запуск расчета;

– постобработка полученных результатов.

Пространственное распределение температуры в моделируемом устройстве описывается трехмерным нестационарным уравнением энергии [3]. Тепловыделение в материале конструкционных элементов, обусловленное прохождением электрического тока, учитывается источниками тепла в правой части уравнения энергии. Действие теплового излучения и электронного охлаждения на теплообмен также учитывается введением в уравнение соответствующих источников-стоков тепла. Уравнение энергии имеет вид

$$\rho \cdot c \cdot u \cdot \nabla T = \nabla(\lambda \nabla T) + q^{joul} + q^{elec} + q^{rad}, \qquad (1.1)$$

где T – температура среды; ρ – плотность среды; c – теплоёмкость среды; u – скорость среды; λ – коэффициент теплопроводности среды; q^{joul} – объемная плотность тепловыделения от проходящего электрического тока (джоулево тепловыделение); q^{elec} – объемная плотность тепловыделения, учитывающая электронное охлаждение; q^{rad} – объемная плотность тепловыделения, учитывающая радиационный теплообмен.

Джоулево тепловыделение в конструкционных материалах определяется плотностью электрического тока и электропроводностью конструкционных материалов:

$$q^{joul} = \vec{i}^{\,2} / k = k \cdot grad(\varphi)^2, \qquad (1.2)$$

где $\vec{i}$ – вектор плотности электрического тока.

Сложность структуры и разнородность материалов рассматриваемого устройства приводят к пространственной неравномерности распределения электрического потенциала,

включая поверхность электродов. Вместе с тем разность потенциалов поверхности эмиттера и коллектора существенно влияет на генерацию тока, на распределение тока по электропроводным материалам и, как следствие, на джоулево тепловыделение в конструкционных материалах. Распределение потенциала в неоднородной электропроводящей среде описывается уравнением Пуассона с пространственно зависимым коэффициентом электропроводности [3, 4]. В цилиндрических координатах уравнение имеет вид

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rk\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)+q^{curr}=0, \quad (1.3)$$

где φ – электрический потенциал; κ – коэффициент удельной электропроводности среды; q^{curr} – объемная плотность источника-стока электрического заряда.

Плотность электрического тока пропорциональна градиенту электрического потенциала и определяется соотношением

$$\vec{i}=-k\cdot grad(\varphi). \quad (1.4)$$

На поверхности электродов нормальная к поверхности составляющая вектора плотности тока i_n равна плотности генерируемого тока j:

$$i_n=\left(\vec{n}\cdot\vec{i}\right)=j. \quad (1.5)$$

К уравнению должны быть присоединены внешние и внутренние граничные условия. В качестве внешних граничных условий обычно задается распределение потенциала по внешней границе расчетной области, которое соответствует напряжению на клеммах устройства.

Замыкающим соотношением в задаче электротеплофизического расчета ТЭС является зависимость плотности тока в межэлектродном зазоре (МЭЗ) от величины межэлектродного напряжения, которая получила название локальной ВАХ ТЭП. При проведении расчетов электротеплофизических характеристик ТЭС важнейшими требованиями, предъявляемыми к методике задания локальной ВАХ, являются возможность встраивания их в расчетный алгоритм и быстродействие предлагаемых расчетов.

С целью расширения возможностей программного кода конечно-элементного анализа COMSOL-ЭГК исходный блок для расчета локальных ВАХ ТЭП, использующий необработанные данные многофакторного эксперимента, в настоящей работе был заменен на блок, реализующий методику, основанную аппроксимации экспериментальных данных о локальных ВАХ многомерными функциями. Для исследования возможности аппроксимации экспериментальных данных с использованием различных многомерных аппроксимирующих функций было отобрано семейство локальных ВАХ с электродной парой W(110)-W(110) [5] и Pt-ВХ2У [6]. Алгоритм расчета неизвестных коэффициентов аппроксимирующих функций и выбора из общего массива функций, удовлетворяющих заданному критерию точности, был реализован с помощью программного кода MATLAB путем написания скрипта на языке программирования MATLAB. Настоящий скрипт организовывает непосредственную связь между алгоритмом аппроксимации в программном коде MATLAB и блоком программного кода COMSOL-ЭГК, отвечающем за экспериментальные ВАХ ТЭП, который обращается к результатам аппроксимации во время процесса расчета выходных электротеплофизических характеристик ТЭС.

Рассматриваемое устройство имеет сложную структуру из разнородных и взаимосвязанных элементов. Расчетная модель лабораторного ТЭП, разработанная в трехмерной геометрии с помощью средств геометрического моделирования программной среды AutoCad, представлена на рис. 1 [7]. Разработанная геометрическая модель была импортирована в программный код COMSOL-ЭГК и использована для последующего численного моделирования тепловых и электрических процессов в лабораторном ТЭП. На рисунке представлен фрагмент модели ТЭП. В настоящей работе конструкция лабораторного ТЭП моделировалась многокомпонентной средой из более чем 10-ти компонентов,

представляющих конструкционные материалы и области, отличающиеся как теплофизическими, так и электрическими свойствами.

После определения начальных и граничных условий, задания постоянного электрического тока в цепи, начального распределения потенциала и плотности тока с поверхности электродов наступает очередь построения расчетной сетки и задания физических свойств конструкционных материалов и сред. Теплофизические и электромагнитные свойства конструкционных материалов и сред, необходимых для расчета, были взяты из [8].

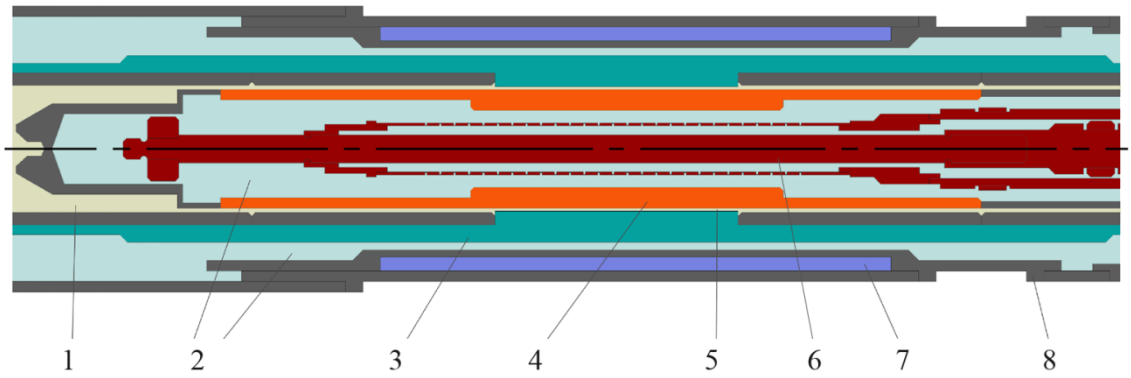


Рис. 1 – Фрагмент расчетной модели лабораторного ТЭП, разработанного в программной среде COMSOL-ЭГК: 1 – цезиевая среда, 2 – гелиевая среда, 3 – коллектор, 4 – эмиттер, 5 – МЭЗ, 6 – нагреватель, 7 – отвод тепла от коллектора (вода), 8 – корпус

Проблема оптимального разбиения пространства геометрической модели на конечные элементы подчас является очень сложной. На каждый элемент разбиения могут накладываться довольно жесткие ограничения. К тому же в пространстве задачи могут быть некие характерные области, где параметры меняются довольно резко. Например, такие области образуются вблизи поверхности электродов, межэлектродных коммутационных перемычек и в МЭЗ. По этой причине в этих областях сетка генерировалась более сгущенной.

Разбиение модели лабораторного ТЭП на конечные элементы производилось программой COMSOL-ЭГК в полуавтоматическом режиме с выбором типа разбиения (квадратная или треугольная форма расчетных ячеек), а также минимального и максимального размера ячеек, который варьировался для различных сред расчетной сетки. В ходе работы была построена расчетная сетка экспериментального ТЭП, состоящая из более чем 150 тысяч расчетных ячеек, имеющих треугольную форму. Фрагмент созданной расчетной сетки представлен на рис. 2. Рамкой выделена рабочая область ТЭП (длина эмиттера в рабочей области лабораторного ТЭП составляет 45 мм).

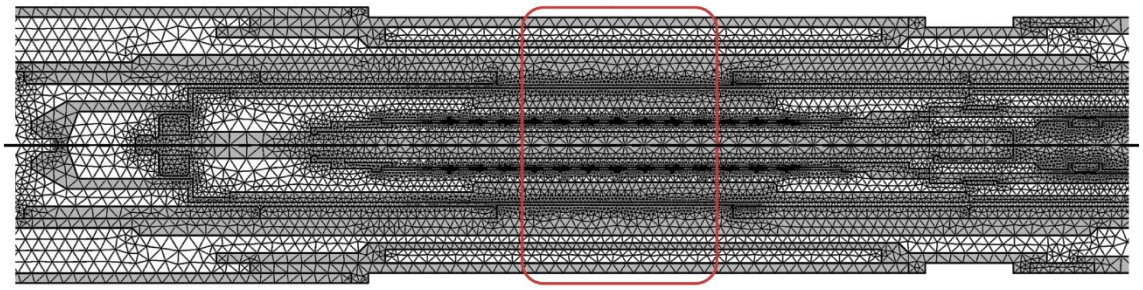


Рис. 2 – Фрагмент сгенерированной расчетной сетки геометрической модели лабораторного ТЭП

Основным результатом расчетов электрических и тепловых характеристик лабораторного ТЭП с помощью программного кода COMSOL-ЭГК являются стационарные двумерные распределения температуры и плотности генерируемого тока вдоль электродов. По найденным распределениям рассчитаны электрическая мощность и к.п.д. лабораторного ТЭП.

Расчет характеристик лабораторного ТЭП проводился при следующих граничных условиях: температура стенок внешней вакуумной камеры принята равной комнатной температуре, а лабораторный ТЭП взаимодействует со стенками вакуумной камеры только посредством лучистого теплообмена. В качестве исходных данных задавались следующие значения основных параметров лабораторного ТЭП: величина протекающего электрического тока в нагревателе, средняя температура охлаждающего теплоносителя в теплообменнике; коэффициент теплоотдачи в окружающее вакуумную камеру пространство.

В ходе работы была выполнена серия расчетов электротеплофизических характеристик стационарного режима работы ТЭП с генерацией тока при мощности нагревателя ~800 Вт. Давление паров цезия во всех вариантах расчета принималось равным 2 мм рт. ст. В работе были получены распределения температуры перфорированной вольфрамовой трубки – основного конструктивного элемента нагревателя – для различных величин протекающего по нагревателю электрического тока. На рисунке 3 представлено распределение температурного поля по конструктивным элементам лабораторного ТЭП при мощности нагревателя 800 Вт. На рисунке 4 представлено распределение температуры эмиттера в рабочей области для различных величин протекающего по ТЭП электрического тока.

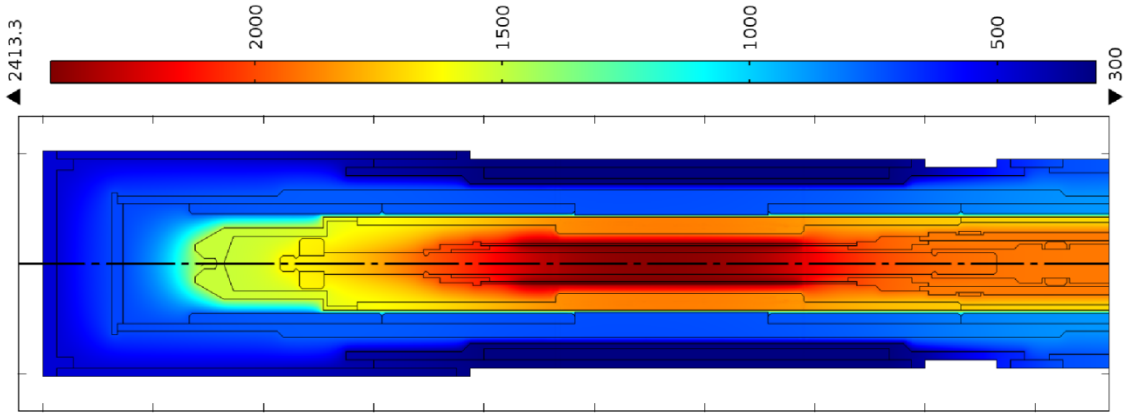


Рис. 3 – Двумерное распределение температуры по конструктивным элементам лабораторного ТЭП при тепловой мощности нагревателя 800 Вт

Результаты расчетов показывают, что распределение температуры электродов имеет значительную неравномерность. По результатам расчетов с различными значениями выходного напряжения лабораторного ТЭП были получены ВАХ ТЭП и зависимость генерируемой электрической мощности от выходного напряжения.

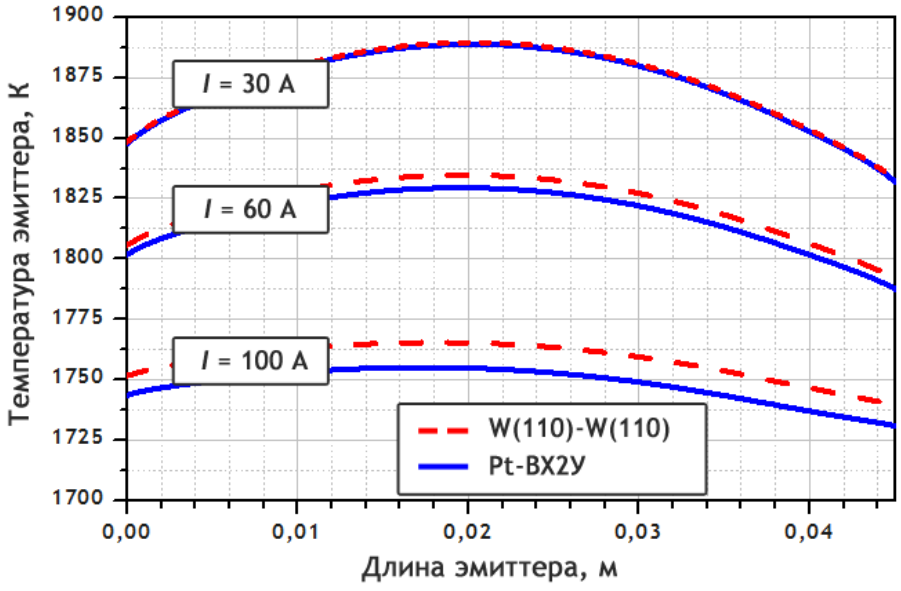


Рис. 4 – Распределение температуры эмиттера в рабочей области лабораторного ТЭП для различных материалов электродной пары и величин электрического тока ТЭП

Таким образом, в настоящей работе выполнен цикл расчетов тепловых и электрических характеристик стационарного режима работы экспериментального лабораторного ТЭП в трехмерной геометрии. В качестве исходных данных были использованы две экспериментальные базы, основанные на различных видах материалов электродной пары – W(110)-W(110) и Pt-ВХ2У. В результате расчетов получены двумерные распределения напряжения и температуры по конструктивным элементам ТЭП для различных величин тепловой мощности. На основании полученных результатов расчитаны ВАХ ТЭП и зависимости генерируемой электрической мощности от выходного напряжения. Использование кода COMSOL-ЭГК для расчетов экспериментального лабораторного ТЭП для ресурсных испытаний показало достаточную гибкость и эффективность методики для выполнения массовых вариантных расчетов устройств со сложной структурой. Результаты расчетов подтвердили существенное влияние на выходные характеристики ТЭП пространственных эффектов, которые не могут быть учтены с достаточной точностью в рамках одномерных моделей. В целом, результаты расчетов подтверждают экспериментально установленный факт высокой эффективности низкотемпературной электродной пары Pt-ВХ2У и сделанное предположение о значительном влиянии пространственной неравномерности температуры и тепловых потоков на выходные характеристики ТЭП. Решающее значение для точности расчета имеет полнота учета реальной структуры и разнообразия физических свойств материалов моделируемых устройств, а также использование экспериментальных данных о локальных ВАХ, что позволяет учитывать в расчете влияние технологии и качества изготовление электродной пары.

Список литературы

1. Официальный сайт-обозреватель CAD, CAE и CAM тематик. Обзор программных продуктов реализующих CAD, CAE-технологии. URL: http://www.procae.ru/articles/15/13.html?showall=1 (дата обращения: 15.12.2011).
2. Официальный сайт производителя «Comsol Multiphysics». URL: http://www.comsol.com/ (дата обращения: 03.01.2012).
3. *Романов А.В.* Теория комплексной оптимизации проектирования космических аппаратов с ядерными термоэмиссионными энергетическими установками [под ред. Б.И. Полетаева, А.П. Ковалева]. – СПб.: ООО «НПО «Профессионал», 2010. – С. 15-95, 238-260.
4. *Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А.* Курс теоретической физики. Т. 2. – М.: Физматгиз, 1962. – 820 с.
5. *Лазаренко Д.Г.* Теплоэлектрофизические характеристики термоэмиссионных электрогенерирующих систем для ядерных энергетических установок нового поколения // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических. – Обнинск, 2009. – 14 с.
6. *Виноградов Е.Г., Ярыгин В.И.* Демонстрационная база экспериментальных данных (БД ВАХ ТЭП) лабораторного термоэмиссионного преобразователя (учебный ТЭП) // Материалы кафедры – Обнинск: ИАТЭ, 2007.
7. *Ярыгин В.И.* Физические основы термоэмиссионного преобразования энергии. Часть 2 // Учебное пособие. – Обнинск: ИАТЭ, 2006. – 64 с.
8. Справочник по свойствам для перспективных реакторных технологий. Т. 1. Свойства жидкометаллических теплоносителей. Т. 2. Свойства газовых сред [под ред. В.М. Поплавского]. – М.: ИздАт, 2011. – 73 с.

01.04.07

[1,2]А.В. Солнышкин д.ф.-м.н., [1]А.А. Богомолов д.ф.-м.н., [1]И.М. Морсаков, [2]М.В. Силибин к.т.н., [3]Д.А. Киселев к.ф.-м.н., [2]А.А. Дронов, [2]К.С. Сеньченко

[1]Тверской государственный университет,
физико-технический факультет, кафедра физики сегнето- и пьезоэлектриков, Тверь

[2]Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
факультет электронных технологий, материалов и оборудования,
кафедра материаловедения и физической химии, Москва, Зеленоград

[3]Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
институт новых материалов и нанотехнологий,
кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков,
Москва, a.solnyshkin@mail.ru

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ P(VDF-TrFE)

В настоящей работе динамическим методом выполнены исследования пироэлектрических свойств пленочных образцов композитного материала на основе сополимера винилиденфторида с трифтроэтиленом P(VDF-TrFE) с различным уровнем содержания включений сегнетоэлектрической керамики системы цирконата титаната свинца.

Ключевые слова: *пироэлектрический эффект, сегнетоэлектрический полимер, композит.*

Поливинилиденфторид (PVDF) и его сополимеры обладают свойствами, характерными для сегнетоэлектриков: наличием спонтанной поляризации, пироэлектрическими и пьезоэлектрическими свойствами [1]. Они являются перспективными материалами для сенсорных устройств современной электроники [2], поскольку имеют относительно большие пироэлектрические и пьезоэлектрические коэффициенты, малую плотность, эластичность и т.д. [3]. PVDF и сополимеры на его основе обладают одной из самых больших вольт-ваттных чувствительностей, высоким показателем качества, однако сравнительно небольшой детектирующей способностью [4]. Добавление пироактивных включений в полимерную матрицу позволяет повысить пироэлектрический коэффициент, показатели качества и обнаружительную способность [5 - 7].

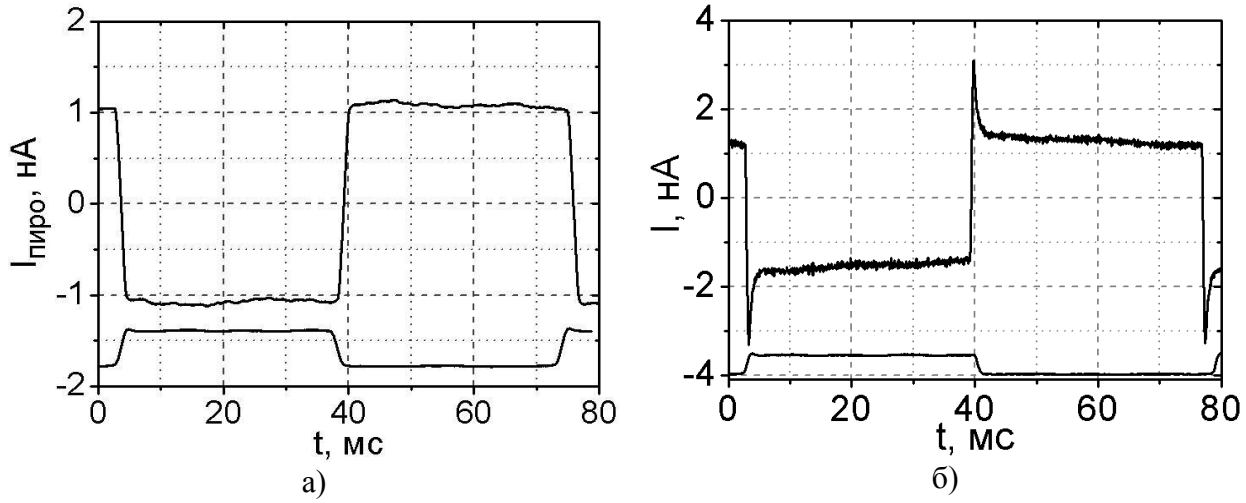
Поэтому целью работы являлось создание пленочных композитных материалов на основе сополимера P(VDF-TrFE) с включениями керамического сегнетоэлектрика цирконата титаната бария свинца (ЦТБС) и исследование их пироэлектрической активности.

Изучение пироэлектрических свойств пленочных образцов композита P(VDF-TrFE) + ЦТБС выполнено динамическим методом с использованием модуляции теплового потока импульсами прямоугольной формы с частотой 16 Гц. В качестве источника теплового излучения использован лазер ГН-40 (λ = 6328 Å) мощностью W = 40 мВт. Для преобразования и усиления отклика использовался операционный усилитель, работающий в условиях короткого замыкания и позволяющий регистрировать пироэлектрический ток.

Свежеприготовленные образцы композитных пленок на основе сополимера P(VDF-TrFE) с добавкой керамики ЦТБС, также как и сополимер без включений, в исходном состоянии униполярностью не обладают, о чем свидетельствует отсутствие пироэлектрического отклика. С целью создания поляризованного состояния использовался метод поляризации электрическим полем коронного разряда, образующегося на острие электрода игольчатой формы, который служил анодом.

Пироэлектрические свойства номинально чистых пленок сополимера P(VDF-TrFE) и композитов на его основе были исследованы при комнатной температуре. Измерения проводились при освещении лазерным излучением центральной части образца. Сканирование лучом по всей поверхности существенно не изменяет величину отклика, что свидетельствует о практически однородной поляризации образца по поверхности.

Результаты исследования кинетики пироэлектрического тока при воздействии модулированного теплового потока на пленочные образцы сополимера P(VDF-TrFE) и композита P(VDF-TrFE) + 10 % ЦТБС приведены на рис. 1. Как видно из представленных на рис. 1 (а) кривых, форма наблюдаемого пироотклика имеет такой же вид, что и опорный сигнал, то есть является прямоугольной. Следовательно, в пленках P(VDF-TrFE) поляризация однородна по толщине образца.



а) б)

Рис. 1 – Осциллограммы пироэлектрических откликов пленок сополимера (а) и композита P(VDF-TrFE)+10% ЦТБС (б). Верхние кривые на рисунке – временные зависимости пироотклика, нижние – опорный сигнал, воспроизводящий форму теплового импульса. Толщина образца сополимера равна 25 мкм, композита – 40 мкм

Пироэлектрический отклик пленочного образца композита на основе сополимера P(VDF-TrFE) и керамики ЦТБС проиллюстрирован на рис. 1 (б). При воздействии теплового потока на поверхность образца форма пироэлектрического сигнала значительно отклоняется от прямоугольной. Передний фронт импульса характеризуется значительным выбросом тока (нестационарная компонента) с последующим достаточно быстрым релаксационным спадом до некоторого установившегося значения (квазистационарная компонента). Причем амплитуда начального выброса в 3 раза превосходит величину квазистационарной компоненты. Анализ формы импульса пироотклика позволяет предположить существование вблизи поверхности образца слоя, который обладает повышенной пироэлектрической активностью по сравнению с остальным объемом композита. Необходимо отметить, что данный эффект в образцах номинально чистого сополимера P(VDF-TrFE) отсутствует. Таким образом, для пленочных образцов композита P(VDF-TrFE)+ЦТБС экспериментально обнаружено существование аномального пироэлектрического отклика, имеющего пьезоэлектрическую природу [8].

Расчет величины пироэлектрического коэффициента (γ) исследуемых поляризованных пленок сополимера P(VDF-TrFE) выполнен по формуле [9]:

$$\gamma = \frac{2 \cdot I \cdot c \cdot d}{\eta \cdot W}, \qquad (1)$$

где I – значение пироэлектрического тока, c – теплоемкость единицы объема образца, равная $2{,}3 \cdot 10^6$ Дж·м$^{-3}$·К$^{-1}$, $\eta = 0{,}2$ – коэффициент поглощения алюминиевого электрода, $W = 40$ мВт – мощность лазерного излучения, d – толщина образца. На рис. 2 представлена зависимость

пирокоэффициента от процентного содержания (ϕ) объемной доли включения пьезокерамики BPZT в матрице сополимера P(VDF-TrFE). Как видно из представленного материала, с ростом процентного содержания включений пироэлектрический коэффициент растет и достигает значений порядка $0{,}8 \cdot 10^{-4}$ Кл·м$^{-2}$К$^{-1}$, а затем, при дальнейшем росте объема включений, наблюдается значительное падение величины пирокоэффициента. Обращает на себя внимание практическое отсутствие разброса экспериментальных данных в области малых концентраций.

Наблюдаемую экстремальную зависимость пирокоэффициента (рис. 2) можно объяснить несколькими факторами, в частности: 1) меньшими значениями поляризующего поля для образцов, содержащих более 20 % включений керамики BPZT, в связи с их большей толщиной, поскольку поляризация в коронном разряде осуществлялась при одинаковом значении приложенного напряжения; 2) увеличением пористости полимерной матрицы с ростом объемного содержания включений наполнителя.

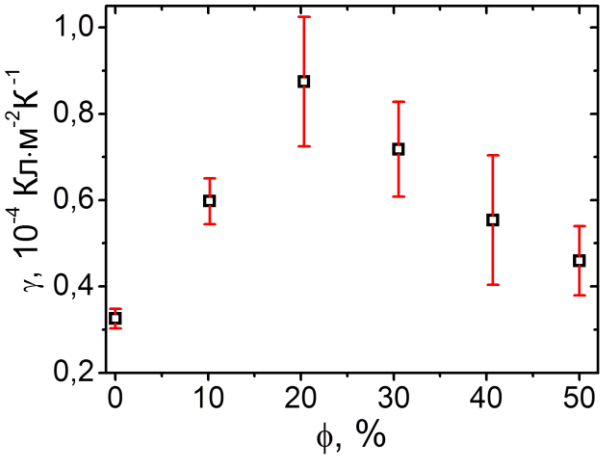


Рис. 2 – Концентрационная зависимость пироэлектрического коэффициента образцов композита P(VDF-TrFE)+BPZT

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», соглашение № 14.B37.21.1989, 14.B37.21.1209, 14.B37.21.0390 и при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-08-31404.

Список литературы

1. Ferroelectric Polymers: Chemistry, Physics, and Applications / Edited by H.S. Nalwa. New York: Marcel Dekker, Inc., 1995. – 912 p.
2. *Qiu X.* Patterned piezo-, pyro-, and ferroelectricity of poled polymer electrets (Applied Physics Reviews – Focused Review) // J. Appl. Phys. – 2010. Vol. 108. – 011101.
3. *Кочервинский В.В.* Структура и свойства блочного поливинилиденфторида и систем на его основе // Успехи химии. – 1996. Т. 65, № 10. – С. 936 – 987.
4. *Муртазин А.* Пироэлектрический электронно-оптический преобразователь / *Муртазин А., Олихов И., Соколов Д.* // Электроника: НТБ. – 2006. № 1. – С. 26 – 30.
5. *Ploss B.* A General Formula for the Effective Pyroelectric Coefficient of Composites / *Ploss B., Shin F.G.* // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2006. Vol. 13, № 5. – P. 1170 – 1176.
6. *Batra A.K.* Present Status of Polymer: Ceramic Composites for Pyroelectric Infrared Detectors / *Batra A.K., Aggarwal M.D., Edwards M.E., Bhalla A.* // Ferroelectrics. – 2008. Vol. 366. – P. 84 – 121.
7. *Солнышкин А.В.* Пироэлектрический эффект в композитах на основе сополимера P(VDF-TrFE) и сегнетоэлектрической керамики ЦТБС / *Солнышкин А.В., Морсаков И.М., Канарейкин А.Г., Богомолов А.А.* // Изв. РАН. Сер. физ. – 2010. Т. 74, № 9. – С. 1343 – 1346.
8. *Солнышкин А.В.* Пироэлектрический и фотовольтаический эффекты в неоднородных сегнетоэлектрических структурах: дис. док. физ.-мат. наук. – Тверь, 2012. – 338 с.
9. *Богомолов А.А.* Пироэлектрический эффект в сегнетоэлектриках. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2004. – 108 с.

01.04.07

Д.В. Харитонов, И.А. Вайнштейн д.ф.-м.н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Университетский НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии»,
Екатеринбург, haritonovd@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТОГО МЕТАМАТЕРИАЛА Ag-MgF_2-Ag С ФРАКТАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКОЙ

Проведено исследование сетчатого метаматериала с единичной ячейкой в виде ковра Серпинского. Выполнен численный анализ спектральных зависимостей эффективных оптических параметров, в том числе показателя преломления, диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости. Обнаружен сдвиг спектральных особенностей в длинноволновую область с увеличением размера фрактальной единичной ячейки.

Ключевые слова: *метаматериалы, отрицательный коэффициент преломления, фракталы.*

Благодаря развитию современных технологий синтеза и конструирования наноразмерных структур стало возможным создание уникальных материалов, обладающих отрицательным показателем преломления в ближней ИК и видимой области спектра [1-3]. В этой связи актуальными являются задачи оптимизации геометрии и поиска новых типов метаматериалов, позволяющих на существующей технологической базе обеспечить левосторонние свойства в коротковолновой области оптического спектра, минимизировать потери на стадии пропускания излучения, гибко изменять спектральный диапазон отрицательного преломления. В этой связи перспективными являются численное моделирование и анализ различной (регулярной, случайной, мультифрактальной [4, 5] и т.п.) структуры метаматериалов. Цель работы заключалась в исследовании оптических свойств сетчатых метаматериалов («fishnet») с геометрией единичной ячейки на основе ковра Серпинского.

В настоящей работе исследовалась плоская периодическая структура Ag-MgF_2-Ag (толщина слоев Ag – 40 нм, слоя MgF_2 – 17 нм), для которой моделировалась квадратная ячейка с длиной стороны d = 100 – 600 нм и расположением отверстий, соответствующим регулярному ковру Серпинского Ω_k , где k = 1, 2, … – число итераций разбиения. При k = 1 ячейки образуют fishnet-структуру, для которой ранее был получен отрицательный показатель преломления в видимой области [1]. Исследовалось нормальное падение плоской электромагнитной волны от удаленного источника в виде модельного сигнала с гауссовой огибающей на плоскость ячейки. Вектора магнитной индукции и напряженности электрического поля были направлены перпендикулярно сторонам единичной ячейки, как показано на рис. 1.

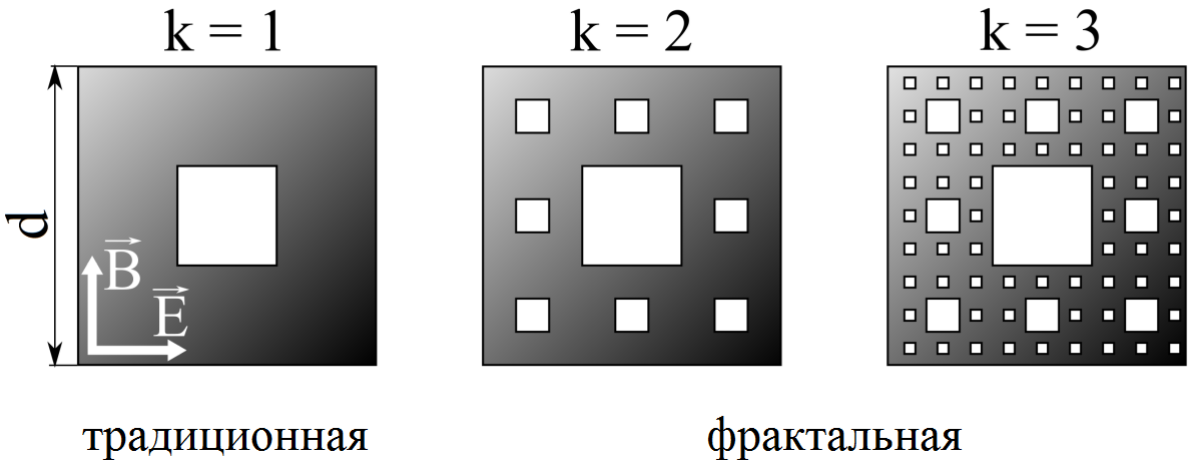


Рис. 1 – Структура фрактально-структурированной единичной ячейки метаматериала при различном числе итераций разбиения k

Численное моделирование методом конечных разностей во временной области проводилось в среде CST MICROWAVE STUDIO 2010. Расчет выполнялся в диапазоне длин волн 400 – 1000 нм. Спектр комплексного коэффициента диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{Ag}(\lambda)$ для слоя серебра был задан в соответствии с экспериментальными данными [6] с увеличенной в 3 раза мнимой частью $\varepsilon''_{Ag}(\lambda)$ согласно работе [7]. Показатель преломления фторидного слоя принимался равным 1.38.

В результате выполненных расчетов для различных значений разбинения k получены спектральные зависимости элементов $S_{11}(\lambda)$ и $S_{21}(\lambda)$ матрицы рассеяния [1], которые определяют коэффициенты пропускания и отражения для моделируемой структуры. На рис. 2 приведен спектр пропускания для слоистой структуры Ω_3. Показанный спектр имеет две особенности в области 670 и 925 нм.

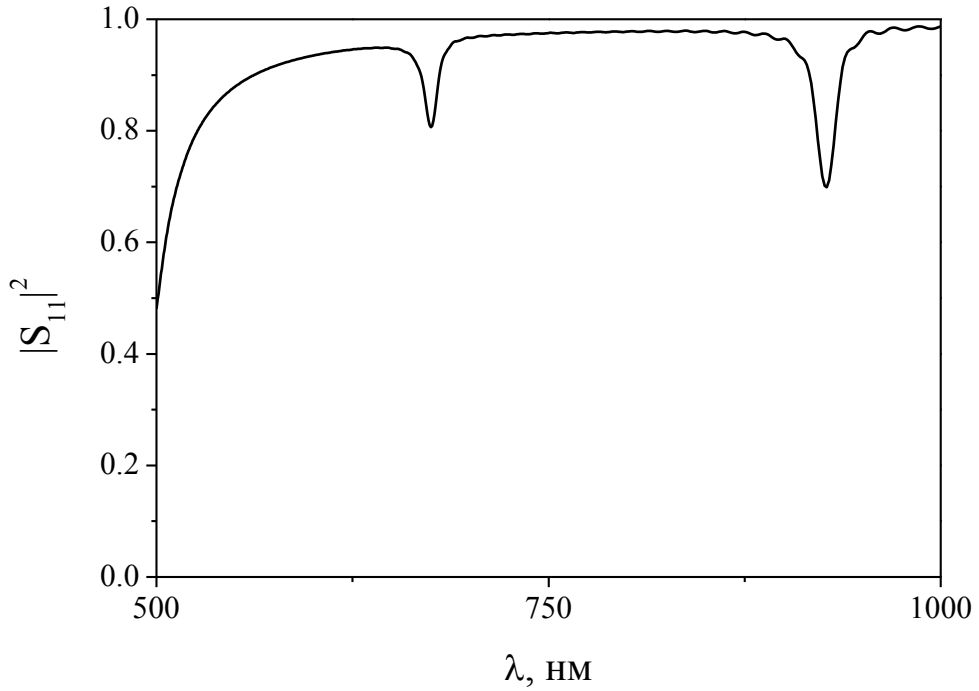


Рис. 2 – Спектр пропускания для фрактальной структуры Ω_3 с d = 300 нм

Кроме этого, были проанализированы зависимости эффективных комплексных параметров диэлектрической $\varepsilon(\lambda)$ и магнитной $\mu(\lambda)$ проницаемостей, а также показателя преломления $n(\lambda)$ для изучаемой модельной структуры [8]. Показано, что для метаматериала с размером единичной ячейки d = 300 нм минимумы отрицательного показателя

преломления находятся в двух диапазонах длин волн 630 – 675 нм и 900 – 940 нм, в зависимости от k. Спектральная полоса, где $n(\lambda) < 0$, сдвигается в область бо́льших длин волн с увеличением размера ячейки d, см. рис. 3.

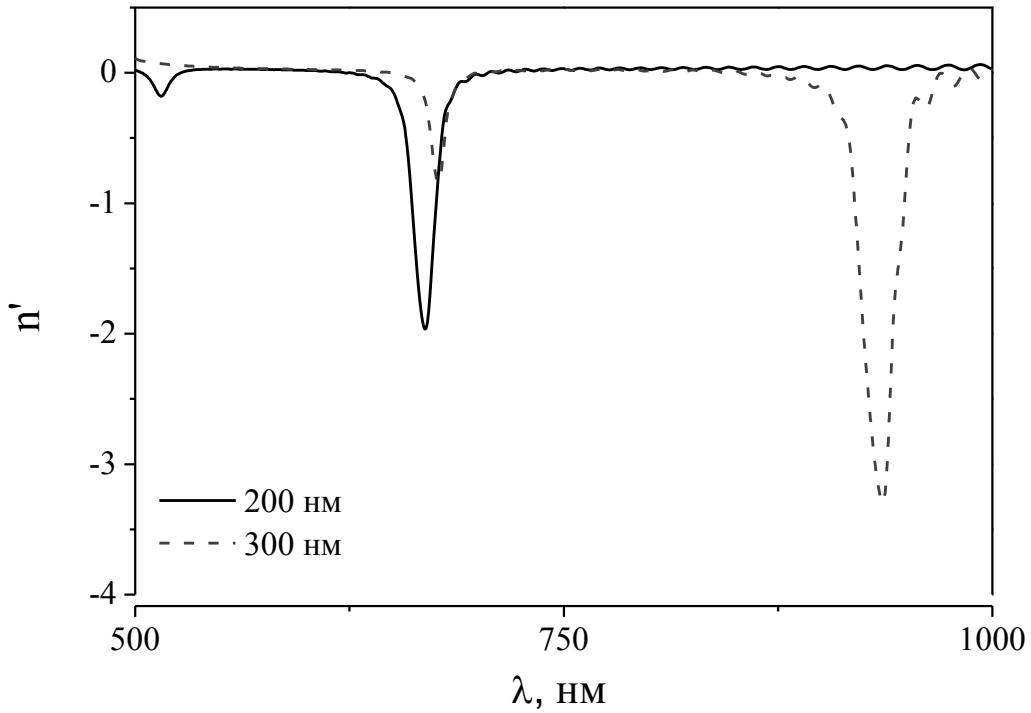


Рис. 3 – Спектральные зависимости действительной части показателя преломления для структур Ω_3 с различным размером единичной ячейки (указаны на рисунке)

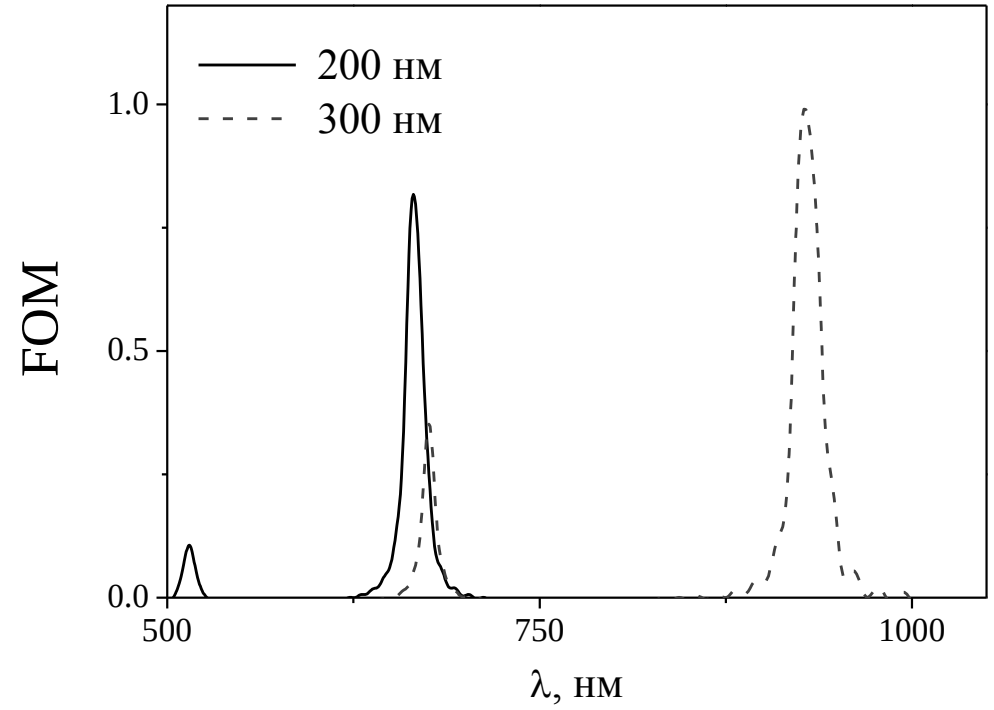


Рис. 4 – Спектральные зависимости показателя FOM для структур Ω_3 с различным размером единичной ячейки (указаны на рисунке)

На рис. 4 показан спектр потерь, который обычно оценивается по критерию FOM = |n'/n''|, связанному с отношением реального и мнимого показателей преломления, соответственно [3]. Полученные диапазоны совпадают со спектральными полосами на рис. 3, которые

указывают на проявления левосторонних свойств изучаемых структур. Из данных рис. 4 видно, что при увеличении размеров единичной ячейки одновременно с красным сдвигом растет амплитуда FOM, то есть уменьшаются потери.

С учетом полученных результатов можно сделать выводы о возможности применения сетчатых метаматериалов с ячейкой на основе ковра Серпинского различных размеров в составе фильтрующих оптических устройств для настройки активных диапазонов с отрицательным преломлением света видимого и ИК-диапазонов.

Работа поддержана государственным контрактом в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Список литературы

1. *Dolling G., Wegener M., Soukoulis C. M., and Linden S.,* Negative-index metamaterial at 780 nm wavelength, Optics Letters, vol. 32, issue 1, 2007, pp. 53–55.
2. *Garcia-Meca C., Ortuno R., Rodriguez-Fortuno F. J., Marti J., and Martinez A.,* Double-negative polarization-independent fishnet metamaterial in the visible spectrum , Optics Letters, vol. 34, issue 10, 2009, pp. 1603–1605.
3. *Xiao S., Chettiar U., Kildishev A.V., Drachev V.P., and Shalaev V.M.,* Yellow-light negative-index metamaterials, Optics Letters, vol. 34, issue 22, 2009, pp. 3478–3480.
4. *Volpe G., Volpe G., and Quidant R.,* Fractal plasmonics: subdiffraction focusing and broadband spectral response by a Sierpinski nanocarpet, Optics Express, vol. 19, No. 4, 2011, pp. 3612–3618.
5. *Вайнштейн И. А., Харитонов Д. В.*, Оптические свойства сетчатых метаматериалов с фрактально-структурированной ячейкой, Проблемы спектроскопии и спектрометрии, выпуск 27, 2010, с. 114–116.
6. *Johnson P. B., Christy R. W.,* Optical Constants of the Noble Metals, Phys. Rev. B 6, 1972, pp. 4370–4379.
7. *Drachev V., Chettiar U., Kildishev A., Yuan H., Cai W., Shalaev V.*, The Ag dielectric function in plasmonic metamaterials, Opt. Express 16, 2008, 1186–1195.
8. *Chen X., Grzegorczyk T., Wu B., Joe Pacheco, Jr., and Jin Au Kong*, Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials, Phys. Rev. E, vol. 70, 2004, pp. 016608-1 – 016608-7.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.13

Ф.А. Зайнуллин

Башкирский государственный университет,
химический факультет, кафедра физической химии и экологии,
Уфа, farkhad_m60@mail.ru

К ПРОБЛЕМЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ РЕАГЕНТОВ ПРИ ПОЛИМЕРНОМ ЗАВОДНЕНИИ

Одним из перспективных способов совершенствования заводнения нефтяных месторождений (особенно содержащих нефти повышенной вязкости) является снижение подвижности закачиваемой воды путем добавления к ней высокомолекулярных соединений — водорастворимых полимеров. Одним из преимуществ использования полимеров является экологическая безопасность их применения в нефтедобыче.

Ключевые слова: *увеличение нефтеотдачи, потокоотклоняющая технология, полимер, заводнение, проницаемость пласта*.

На территории Республики Башкортостан расположены крупные нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия.. Освоение территорий нефтеносных районов предполагает создание специфических технологических цепей производства: скважинный способ добычи, использование системы заводнения пластов выработки, сбор и перекачка нефти, многочисленные системы точечных и линейных нефтепромысловых объектов. Эти объекты размещены на значительных площадях и представляют потенциальную экологическую угрозу окружающей среде. В настоящее время технология добычи любых полезных ископаемых такова, что часть добываемых веществ и сопутствующих им компонентов неизбежно попадает в окружающую среду и воздействует на природные экосистемы. Наиболее уязвимым элементом окружающей среды при авариях и разливах становятся поверхность почвы, растительность и водные объекты [1, 2, 7].

Значительная часть нефтяных месторождений РБ находится на поздней стадии разработки, которая характеризуется постоянным снижением уровня добычи нефти при одновременном росте ее обводненности. В то же время, остается значительной доля запасов нефти в низкопродуктивных и обводненных пластах, эффективная добыча которых не возможна без применения методов увеличения нефтеотдачи (МУН).

Современные методы совершенствования заводнения, основанные на гидродинамическом воздействии на пласт, способствуют увеличению охвата воздействием не вовлеченных в разработку участков, но при обводненности более 80% эффективность их резко снижается. Уплотнение сетки скважин при обводненности свыше 90% также не обеспечивает повышения коэффициента извлечения нефти. Кроме того, в связи с большими масштабами применения процесса заводнения, быстрыми темпами увеличиваются запасы в обводненных пластах, доразработка которых, в связи с огромными непроизводительными затратами на перемещение воды по пласту, гидродинамическими МУН становится нерентабельной [1, 4, 5].

Анализ отечественного и зарубежного опыта эксплуатации нефтяных месторождений свидетельствует о том, что применение физико- химических МУН позволяет изменять направление фильтрационных потоков, повышать охват пластов заводнением, а также коэффициент вытеснения и, как следствие, увеличивать добычу нефти при значительном снижении обводненности [3]. Считается, что структура закачиваемых реагентов такова, что

они проникают в наиболее проницаемые пропластки пласта, снижая их проницаемость. Это приводит к перераспределению потоков жидкости в пласте в менее проницаемые пропластки и тем самым снижается степень неоднородности пласта. Поэтому эти методы получили наименование потокоотклоняющих или выравнивания профиля приемистости (отдачи при ограничении добычи попутной воды) [3, 5].

Один из способов вытеснения трудноизвлекаемых запасов нефти состоит в том, что капиллярно удерживаемую нефть вытесняют с помощью растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) и композиций на их основе. Степень извлечения нефти из неоднородных пластов можно увеличить, если снизить проницаемость водопроводящих высокопроницаемых каналов, что достигается путем генерирования в них различных тампонирующих масс (осадков, гелей, закачки суспензий глинистых частиц и т.п.)[8]. Прекращение фильтрации воды через высокопроницаемые каналы приводит к перераспределению фильтрационных потоков в пласте и вытеснению плохо дренированных запасов нефти. МУН вышеописанного типа называются потокоотклоняющими. В последнее время в России *потокоотклоняющие технологии* повышения нефтеотдачи относятся к одному из основных типов МУН.

Итак, к потокоотклоняющим технологиям относят «закачку реагентов, понижающих проницаемость отдельных высокопроницаемых промытых пропластков» [3, с. 13]. К ним относятся - закачка суспензионных растворов; закачка реагентов, образующих в пласте осадки в результате химического взаимодействия закачиваемого реагента с пластовыми флюидами, прежде всего с водой, или взаимодействия между реагентами закачиваемой композиции; закачка композиций, образующих в пласте гель или эмульсии.

Для экологической безопасности необходимо использование такого полимерного реагента, который бы после выполнения своего предназначения (после вскрытия продуктивного пласта при его освоении) разрушался. Весьма перспективным в этом отношении является использование *сульфацелла.* Он быстро растворяется в воде, образуя вязкие однородные растворы. Благодаря неионному характеру *сульфацелл* обладает широким спектром совместимости с другими реагентами. Одним из основных достоинств *сульфацелла* является то, что он экологически безвреден, так как подвергается биологическому разложению, не образуя вредных веществ [3].

Значительный интерес представляют работы Дж. Сэндифорда (США), предложившего в ряде патентов для регулирования проницаемости, совместное использование полимеров, например, полиакриламида (ПАА) с силикатными гелеобразующими системами. Использование гелеобразующих составов на основе силиката натрия является одним из эффективных методов для глубокой обработки пласта [10]. Перспективность их использования обусловливают следующие свойства: а) достаточно низкая стоимость используемых реагентов; б) технологичность приготовления и закачки раствора в пласт при низкой вязкости гелеобразующей системы; в) устойчивость к повышенной пластовой температуре; и, разумеется, г) экологическая безопасность. Утверждается, что комбинация этих двух составляющих дает более плотный, эластичный материал, устойчивый к сдвигу, кроме того, он (материал) сохраняет форму и эффективно снижает проницаемость высокопроницаемых обводненных слоев. Время гелеобразования и прочность геля могут изменяться путем регулирования концентраций и соотношения компонентов системы.

Особую актуальность приобретает использование потокоотклоняющих технологий в применении к трудноизвлекаемым запасам нефти. Причинами являются особенности геологического строения залежей (ухудшенные свойства пласта и пластовой жидкости, проявление реологических свойств нефти, сравнительно низкая концентрация запасов как по площади, так и по разрезу, небольшие размеры залежей), их разбросанность и удаленность от основных месторождений и районов нефтедобычи. Низкопроницаемые пласты и пропластки имеются и в высокопродуктивных залежах, где они залегают в виде «линз различной величины, полос различной ширины или коллекторов площадного развития» [8, с. 17]. К технологиям, обеспечивающим дополнительную добычу нефти на поздней стадии

относится создание в пластовых условиях полимердисперсных систем. В настоящее время этот принцип воздействия на пласты широко используется в различных нефтяных регионах - это коллоидно-дисперсные и волокнисто-дисперсные системы, биополимеры, щелочно-полимерное заводнение, силикатно-щелочное заводнение, композиции на основе кремниевой кислоты, силикат-гелевые составы, применение жидкого стекла в сочетании с другими реагентами и дисперсными частицами горных пород и др. [6, 9].

Исследователями Башкирского госуниверситета разработана технология реанимации скважин и повышения их продуктивности с помощью реагента «Грин Юниклин 1223-04» – «Ойл-пласт 04». Используется совокупность физико-химических факторов воздействия на призабойные зоны скважин, выражающаяся в существенном повышении их продуктивности за счет улучшения условий притока, снижения уровня энергетики, необходимой для разрыва связей нефть – порода, нефть – вода (поршневой характер вытеснения на капиллярном уровне), повышения проницаемости пласта и подключения в работу неосвоенных или засоренных пропластков, а также очистки от АСПО призабойной зоны [1].

При лабораторных исследованиях при прокачке реагентов через модель пласта наблюдается снижение расхода жидкости. То же самое происходит, как правило, при закачке реагентов в скважины, что свидетельствует о том, что закачиваемые реагенты или имеют повышенную вязкость, или происходит кольматация пласта [1,2, 7]. Поэтому закачка реагентов в нагнетательные скважины производится при повышенных давлениях. При этом может происходить раскрытие трещин или расслоения пласта. После закачки реагентов нагнетательные скважины подключаются к действующей системе ППД (поддержание пластового давления), где поддерживается то же давление, что и до закачки реагентов.

Технологическая эффективность применения указанных технологий характеризуется: а) дополнительной добычей нефти и повышением нефтеотдачи пластов, т.е. добычей вовлеченных в разработку ранее недренируемых запасов нефти: б) текущей дополнительной добычей нефти за счет интенсификации притока; в) сокращением объема попутно добываемой воды.

Главная проблема существующих физико-химических методов повышения нефтеотдачи, основанных на использовании добавок к закачиваемой в пласты воде физико-химически активных примесей (ПАВ, полимеров и их смесей), заключается в преодолении отрицательного влияния на процессы извлечения нефти сорбции этих примесей пористой средой, а возможно, и остаточной нефтью[1]. Сорбция приводит к существенно более медленному распространению в пласте активного вещества, вытеснению значительной части нефти, очищенной от добавок водой, и к резкому снижению эффективности физико-химических методов повышения нефтеотдачи. Сорбция может приводить также к разрушению оторочек смесей физически и химически активных веществ.

В современных условиях разработки месторождений стратегическое направление повышения нефтеотдачи пластов из высокообводненных залежей, сравнимое по своему значению с внедрением на ранних стадиях разработки более 50 лет назад методов заводнения. - это рациональное использование уже созданной на месторождениях системы ППД для извлечения остаточных запасов нефти системным применением физико-химических потокоотклоняющих МУН. Однако высокая эффективность потокоотклоняющих технологий сопровождается и негативными последствиями. Как показали исследования, при применении потокоотклоняющих технологий изменяется состав нефтей в пласте, так как в разработку вовлекаются более легкие нефти; при этом ухудшается качество оставшейся в пласте нефти [1, 9]. Вследствие снижения температуры пласта в недренируемых частях пласта происходит выпадение АСПО (асфальтосмолопарафиновые отложения). Недостатки метода, такие как снижение стабильности растворов полимеров при высоких температурах и минерализации пластовых флюидов, как правило, устранимы за счет тщательного подбора состава полимерной композиции, а также проведения ее модификации.

При полимерном заводнении могут иметь место: а) проливы и утечки химических веществ при транспортировке; б) утечки готового раствора; в) подземные утечки при повреждении или корродировании оборудования скважины; г) оседание поверхности в результате химического разрушения пород; д) угроза здоровью обслуживающего персонала. В связи с этим особую значимость приобретает использование экологически безопасных реагентов.

Список литературы

1. *Бакиров И.М.* Развитие систем разработки нефтяных месторождений с применением заводнения: Автореф. дисс. д-ра техн. наук. - Уфа, 2012. - 48 с.
2. *Бахтиярова Р.С.* Применение химических методов и технологий извлечения остаточной нефти на месторождениях РБ: дис. канд. техн. н. –Уфа, 2010. - 173 с.
3. *Башкирцева Н.Ю.* Композиции на основе неионогенных ПАВ для комплексного решения задач повышения нефтеотдачи, подготовки и транспортирования высоковязких нефтей: дис. д-ра техн. наук. – Казань, 2009.- 279 с.
4. *Билалова А.Г.* Применение новых технологий в добыче нефти. – Волгоград: Изд. «Ин – Фолио», 2009. – 292 с.
5. *Булаев В.В.* Обоснование технологических решений нетрадиционного заводнения залежи высоковязких нефтей: дис. канд. техн. н. – М., 2006. – 169 с.
6. *Газизов А.А.* Увеличение нефтеотдачи неоднородных пластов на поздней стадии разработки. – М.: Изд. «Недра», 2002. - 640 с.
7. *Покрепин Б.В.* Разработка нефтяных и газовых месторождений. - Волгоград: Изд. «Ин – Фолио», 2008. – 313 с.
8. *Раззак М.А.* Обоснование и исследование потокоотклоняющих технологий для повышения нефтеотдачи на месторождениях Ирака: автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 2005. - 21 с.
9. *Слюсарев Н.И.* Технология и техника повышения нефтеотдачи пластов. – СПб.: Изд. ГТУ им. Г.В.Плеханова, 2003.- 148 с.
10. *Черепанова Н.А.* Совершенствование потокоотклоняющих технологий увеличения нефтеотдачи терригенных коллекторов: дис. канд. техн. н. - Уфа, 2000. - 168 с.

02.00.15

О.В. Манаенков к.х.н., О.Ю. Макеева, А.Е. Филатова,
М.Г. Сульман д.х.н., А.И. Сидоров к.х.н., А.В. Быков к.х.н.,
В.Г. Матвеева д.х.н., М.Е. Григорьев к.х.н., Э.М. Сульман д.х.н.

Тверской государственный технический университет,
кафедра биотехнологии и химии,
Тверь, ovman@yandex.ru

КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТРОЛА ДЛЯ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПОЛИОЛЫ

В работе представлены результаты физико-химических исследований Ru-содержащих катализаторов на основе сверхсшитого полистирола (СПС) и его функционализированных аналогов, использующихся в процессе конверсии целлюлозы в полиолы. Показана взаимосвязь структурных и морфологических свойств катализаторов Ru/СПС и эффективности их действия.

Ключевые слова: *сверхсшитый полистирол, гетерогенный катализ, структурно-морфологические свойства катализаторов, целлюлоза, полиолы*.

СПС является первым представителем нового класса нанопористых полимерных материалов, обладающих уникальной топологией и рядом необычных свойств. Характеризующийся большой внутренней поверхностью, узким распределением пор по размерам, способностью набухать в жидкой среде и высокими сорбционными свойствами, СПС был предложен в качестве подложки для нанокомпозитных катализаторов, на которых происходит активное превращение субстратов, обусловленное их быстрым концентрированием в фазе сорбента [1]. Поскольку СПС способен набухать в любых растворителях, доступ к каталитическим центрам обеспечивается практически для всех реакционных сред [2].

Ранее нами сообщалось о возможности применения Ru-содержащих катализаторов на основе СПС в процессе гидролитического гидрирования целлюлозы до многоатомных спиртов [3]. Было показано, что замена традиционного углеродного носителя на СПС позволяет повысить выход гекситолов.

Цель данной работы – исследование структурных и морфологических свойств Ru-содержащих катализаторов на основе СПС различных типов и установление взаимосвязи между их структурными характеристиками и эффективностью действия, проявляемой в процессе гидролитического гидрирования целлюлозы.

Экспериментальная часть

Методика приготовления катализаторов

Для приготовления катализаторов использовался СПС MN 270 без наличия функциональных групп, СПС MN 100 функционализированный аминогруппами и сульфированный СПС марки MN 500.

Соответствующий тип СПС пропитывали по влагоемкости раствором гидроксихлорида рутения (IV) в комплексном растворителе тетрагидрофуран + метанол + вода в соотношении 4:1:1. Катализатор сушили при 70 ^{0}C, обрабатывали растворами NaOH и H_2O_2 и отмывали водой до исчезновения реакции на хлорид-анионы. Восстанавливали катализаторы газообразным водородом при атмосферном давлении и температуре 300 ^{0}C в течение 2 часов, остужали в атмосфере газообразного азота.

Методика эксперимента

Исследованные катализаторы тестировались в процессе гидролитического гидрирования целлюлозы, который проводился в стальном реакторе высокого давления PARR 4843

объемом 50 $см^3$ при температуре 245 ^0C, парциальном давлении водорода 60 атм в течение 5 мин.

Результаты и обсуждение

Ru-содержащие катализаторы на основе СПС разных типов в процессе гидролитического гидрирования целлюлозы проявили различную эффективность, которая оценивалась по суммарному выходу целевых продуктов конверсии – сорбитолу и маннитолу (табл. 1). В ходе исследования было показано, что такое различие обусловлено структурными и морфологическими свойствами катализаторов.

Таблица 1 – Зависимость конверсии целлюлозы и суммарного выхода гекситолов от типа катализатора*

Катализатор:	Конверсия целлюлозы, %	Суммарный выход гекситолов, %
1.0 % Ru/СПС MN 270	84.3	31.5
1.0 % Ru/СПС MN 100	77.0	9.1
1.0 % Ru/СПС MN 500	80.6	1.8
* 245 ^0C, 60 атм H_2, 30 мл воды, 600 $мин^{-1}$, 0.028 ммоль Ru на 1 г целлюлозы.		

Таблица 2 – Удельная поверхность разных типов СПС и катализаторов на их основе

Образец	Площадь поверхности					
	Лэнгмюр		БЭТ		t-график	
	S_L, $м^2/г$	k_L	$S_{БЭТ}$, $м^2/г$	$k_{БЭТ}$	S_t, $м^2/г$	k_t
MN 270	1491.9	0.9995	1373.1	0.99962	288.1* 1121.6**	0.99667
MN 100	838.9	0.9998	723.9	0.99954	189.3* 603.2**	0.99981
MN 500	646.0	0.9999	539.1	0.99943	148.1* 458.2**	0.99996
1.0 % Ru/СПС MN 270	1309.6	0.9994	1186.0	0.99957	251.2* 983.1**	0.99787
1.0 % Ru/СПС MN 100	839.4	0.9999	724.3	0.99938	193.9* 601.1**	0.99974
1.0 % Ru/СПС MN 500	90.3	0.9985	86.9	0.99994	70.7* 13.4**	0.99879
* – удельная поверхность в соответствии с моделью t-графика; ** – удельная поверхность микропор; k_L, k_{BET}, k_t – коэффициенты корреляции.						

Значения удельной поверхности и пористости использованных в работе катализаторов и исходных образцов СПС были определены на анализаторе поверхности "Beckman Coulter SA-3100". Результаты определений представлены в табл. 2 и на рис. 1 - 3. Из полученных данных видно, что СПС марки MN 270 обладает более развитой удельной площадью поверхности, в том числе, удельной площадью поверхности микропор. Введение прекурсора в матрицу СПС и последующее восстановление образца обусловливает уменьшение площади поверхности, наиболее очевидное для СПС MN 500, что, в данном конкретном случае, может быть связано также с элементарной серой, образующейся при восстановлении катализатора.

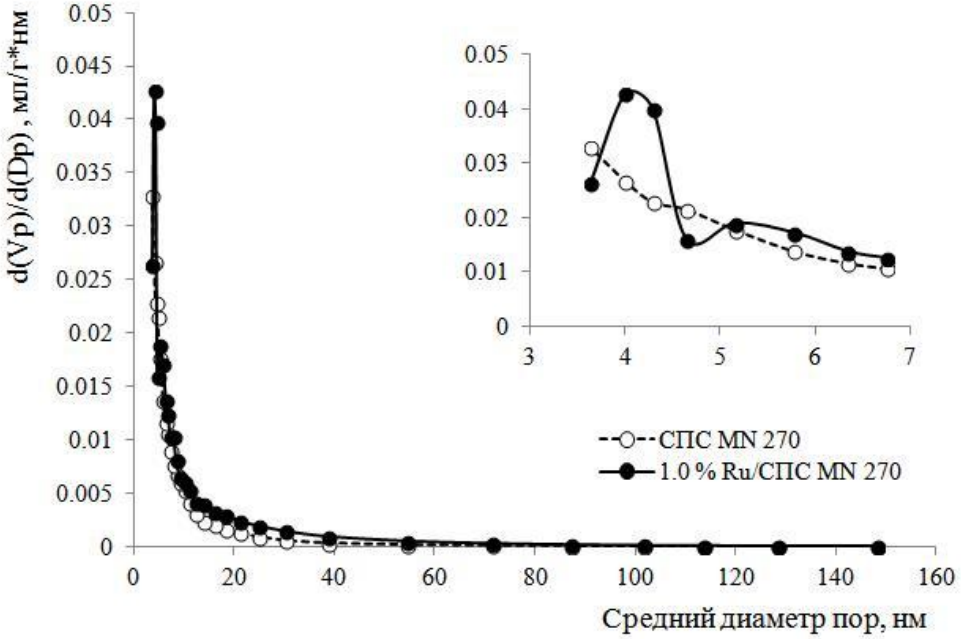


Рис. 1 Абсолютное распределение объема пор в зависимости от их диаметра для СПС MN 270 и 1.0 % Ru/СПС MN 270.

Абсолютное распределение объема пор в зависимости от их диаметра (рис. 1 - 3) показывает, что для всех катализаторов наибольший вклад в общий объём пор вносят поры диаметром 4.0 – 4.5 нм, что особенно характерно для катализатора на основе MN 270. Такой диаметр пор положительно влияет на скорость диффузии молекул глюкозы, размер которых приблизительно равен 1.5 нм, к активной внутренней поверхности катализатора.

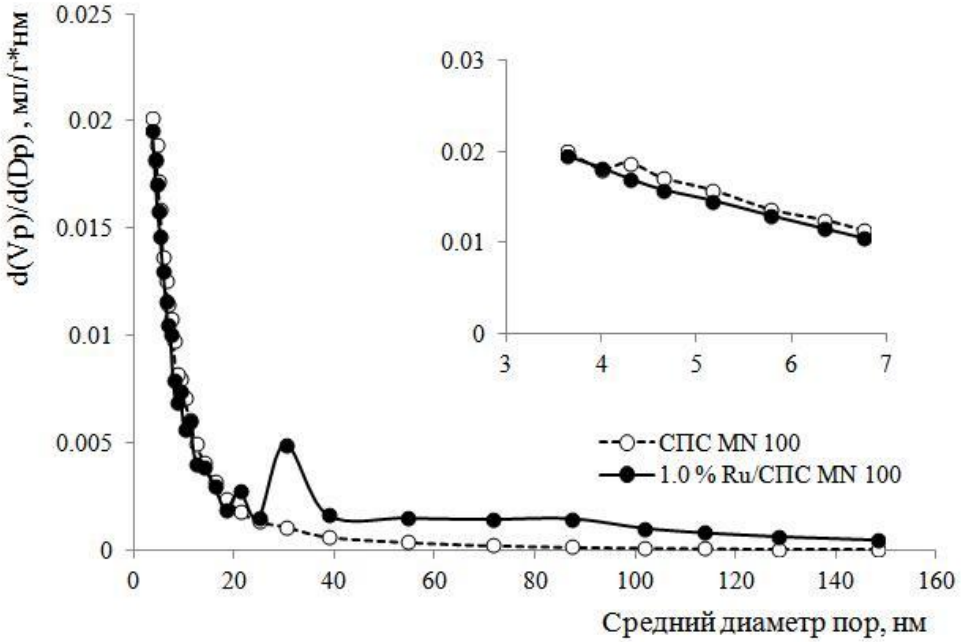


Рис. 2 Абсолютное распределение объема пор в зависимости от их диаметра для СПС MN 100 и 1.0 % Ru/СПС MN 100.

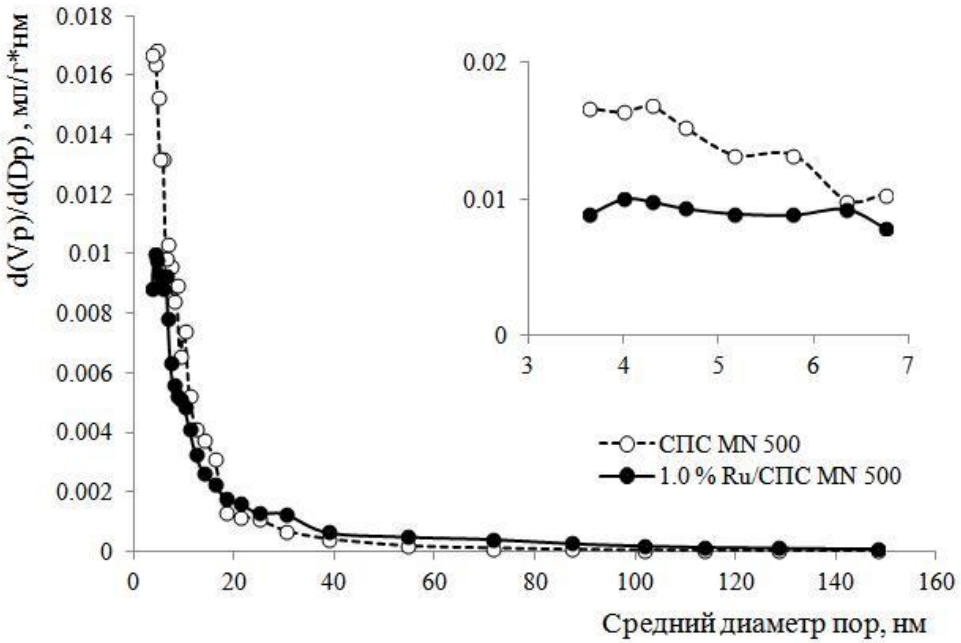


Рис. 3 Абсолютное распределение объема пор в зависимости от их диаметра для СПС MN 500 и 1.0 % Ru/СПС MN 500.

Логичное предположение о том, что узкое распределение пор по размерам (рис. 1) СПС MN 270 будет способствовать формированию малоразмерных монодисперсных частиц активной фазы, было подтверждено данными электронной микроскопии. Было показано, что средний диаметр частиц активной фазы катализатора Ru/СПС MN 270 составляет 1.4 ± 0.3 нм (рис. 4).

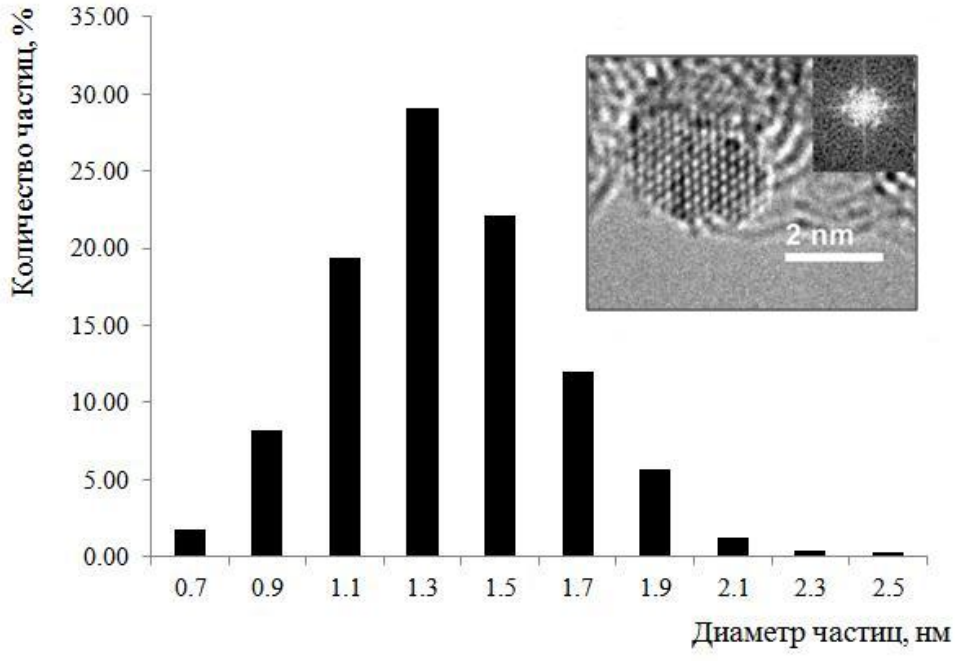


Рис. 4 Гистограмма распределения размеров частиц и изображение высокого разрешения и Фурье картины, полученные от отдельной Ru-содержащей наночастицы для катализатора Ru/СПС MN 270.

В результате исследования было показано, что эффективность действия катализатора 1.0 % Ru/СПС MN 270, проявляемого в процессе гидролитического гидрирования целлюлозы, обусловлена его структурными и морфологическими свойствами. В частности, развитой удельной площадью поверхности, узким распределением пор по размерам, малыми размерами и монодисперсностью частиц активной фазы.

Таким образом, очевидно, что дальнейшее развитие и совершенствование процесса каталитической конверсии целлюлозной биомассы в сырьё для химической и топливной промышленности будет связано с применением гетерогенных каталитических систем на основе СПС марки MN 270.

Работа была выполнена в рамках проекта, финансируемого РФФИ (номер гранта 12-08-33072).

Список литературы

1. *Цюрупа М.П., Блинникова З.К., Проскурина Н.А., Пастухов А.В., Павлова Л.А., Даванков В.А.* // Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4, № 9-10. С. 109-117.
2. *Григорьев М.Е., Матвеева В.Г., Сульман Э.М.* Наночастицы Ru, импрегнированные в матрицу сверхсшитого полистирола, в каталитическом синтезе D-сорбита // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2010. Т. 53, № 1. С. 54-57.
3. *Манаенков О.В., Филатова А.Е., Макеева О.Ю., Сульман М.Г., Сульман Э.М., Торозова А.С., Кислица О.В.* // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 59-63.

02.00.04

М.И. Панфилова к.х.н., М.В. Фомина к.ф.-м.н., И.С. Панфилова

Московский государственный строительный университет,
кафедра физики,
Москва, 012340@mail.ru

ВОПРОСЫ ВЫБОРА ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЭРИРОВАННЫХ СИСТЕМ

В данной работе рассматривается вопрос подбора пенообразователя при производстве аэрированных систем. В качестве пенообразователей используют различные ПАВ или технические средства.

В процессе исследования было установлено, что наиболее предпочтительным для использования в качестве пенообразователя при получении вспененных систем является синтамид-5.

Ключевые слова: *инъекционные растворы, адсорбция, равновесная концентрация, бентонит.*

В наши дни строительство неразрывно связано с вопросами повышения качества, долговечности, экономичности бетона. Основная задача-это получение бетон-матрицы - основного конструкционного строительного материала с заданными свойствами: прочного, водонепроницаемого, морозостойкого, коррозионностойкого, трещиноустойчивого композита.

На современной стадии развития бетоноведения эти задачи решаются путем использования различных органических и неорганических веществ в качестве специальных добавок к бетону. Вводимые в незначительных количествах добавки оказывают влияние на химические процессы твердения бетона, обеспечивают улучшение его механических и физико-технических свойств. Вышеперечисленным требованиям отвечают инъекционные растворы, которые являются эффективным средством для заполнения крупных пустот и трещин, тампонажа трещиноватых и закарстованных, сильно проницаемых пород, а так же для укрепления неустойчивых водонасыщенных грунтов.

В данной работе рассматривается вопрос подбора пенообразователя при производстве аэрированных систем. В качестве пенообразователей при производстве аэрированных систем используют различные ПАВ или технические средства [1]. В настоящей работе использовали анионоактивный ПАВ - сульфонол с общей формулой:

$$C_n H_{2n+1} SO_3 Na\ ,$$

где n=12÷18, содержащий 80% масс основного вещества и неионогенного ПАВ синтамид-5 с общей формулой:

$$C_n H_{2n+1} CONHCH_2 O\left(C_2 H_4 O\right)_m H\ ,$$

где n=10÷16, m=5÷6, содержащий 97% масс основного вещества [2,3].

Кроме того, применяли бентонит асканский, содержащий по массе %: $Si0_2$-53,2%; Al_20_3 -18,1; Fe_2O_3-2,80; CaO-1,126; MgO-2,03; K_2O-0,18; Na_20-1,70 с удельной поверхностью 420 м^2 /г и общей пористостью 30% [4,5].

Адсорбцию сульфонола на бентоните проводили в интервале концентрации ПАВ $1{,}15\cdot10^{-5}$ - $460\cdot10^{-5}$ моль/л. Для определения адсорбции сульфонола на бентоните определяли поверхностное натяжение при температуре 25°С и строили на основе этих данных калибровочный график по которому определяли изменение ПАВ.

При изучении адсорбции ПАВ большое значение имеет критическая концентрация мицеллообразования (ККМ), при которой начинается агрегация молекул в мицеллы. Для сульфонола ККМ соответствовала $58\cdot10^{-5}$ моль/л.

Далее определяли достижение равновесной концентрации ПАВ на бентоните. На основании проведенных исследований оказалось, что только через 24 часа после начала адсорбции сульфонола, независимо от его начальной концентрации, в растворе достигается равновесная концентрация.

Были получены данные по адсорбции сульфонола на бентоните в зависимости от различных концентраций ПАВ, по которым определили основные показатели адсорбционных слоев: площадь S, занимаемую одной молекулой, и толщину поверхностного слоя δ. Величины S и δ рассчитывали по экспериментально найденным значениям предельной адсорбции $\Gamma_{max.}$

Площадь S, приходящуюся на одну молекулу в насыщенном адсорбционном слое вычисляли по уравнению:

$$S = \frac{1}{N \times \Gamma_{\max}}, \quad (1)$$

где N - число Авогадро.

Толщину адсорбционных слоев рассчитывали по формуле:

$$\delta = \frac{\Gamma_{\max} \times M}{V}, \quad (2)$$

где M - молекулярная масса ПАВ, ρ - плотность ПАВ.

Определено, что при адсорбции сульфонола на бентоните площадь, занимаемая одной молекулой ПАВ, составляет $S=8{,}0\cdot10^{-19}$ м, а толщина слоя равна $\delta=2{,}5\cdot10^{-7}$м.

Установлено, что адсорбция анионоактивного ПАВ происходит не полностью. Снижение концентрации ПАВ для всех его концентраций, начиная с самых низких, не превышает 50%. При концентрациях сульфонола, больших, чем ККМ, адсорбция снижалась до 30%. Это явление можно объяснить тем, что молекула ПАВ, находящаяся после достижения ККМ в агрегатном состоянии, плохо сорбируется из-за возникновения стерических осложнений [6,7].

Адсорбцию синтамида-5 на бентоните проводили в интервалах концентрации ПАВ от $1{,}02\cdot10^{-4}$ до $327\cdot10^{-4}$ моль/л. Критическая концентрация неионогенного ПАВ для синтамида-5 оказалась равной $4{,}4\cdot.10^{-3}$ моль/л.

Достижение равновесной концентрации синтамида-5 на бентоните определяли также как для сульфонола. На основании проведенных исследований оказалось, что через 15 мин после начала адсорбции для всех начальных концентраций растворов достигается равновесная концентрация.

Были получены данные по адсорбции синтамида-5 на бентоните в зависимости от различных концентраций ПАВ построена изотерма адсорбции, из которой определили значение максимальной адсорбции. Она оказалась равной $3{,}7\ 10^{-10}$ моль/л. Затем определили площадь, занимаемую одной молекулой ПАВ и толщину адсорбционного слоя. При адсорбции синтамида-5 на бентоните $S=7{,}9\ 10^{-19}$ м, а $\delta=2{,}3\ 10^{-9}$м.

Таким образом, бентонит является сильным сорбентом по отношению к неионогенному ПАВ. Исходя из полученных данных, более предпочтительным для использования в качестве пенообразователя при получении вспененных систем является синтамид-5.

Список литературы

1. *Смирнова Г.О., Зубрев Н.И., Голубев В.Г., Митраков В.И.* Влияние различных пенообразователей на устойчивость и структурно-механические свойства вспененных глиноцементных тампонажных растворов // Сб. науч. тр. ЦНИИС «Методы преобразования свойств грунта при строительстве транспортных сооружений». – М.: ЦНИИС, 1991. – С. 77-82.
2. *Абрамзон А.А.* Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение// Л.: Химия, 1975, С. 248.
3. *Ахмадеев Р.Г., Данишевский Б.С.* Химия промывочных и тампонажных жидкостей // М.: Недра, 1981, С. 152.
4. *Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М, и др.* Адсорбция органических веществ из воды. // Л.: Химия, 1990, С. 256.
5. *Круглицкий Н.Н., Агабалянц Э.Г.* «Методы физико-химического анализа промывочных жидкостей» // Киев, Техника, 1972, С. 57.
6. *Ланге К.Р.* Поверхностно-активные вещества, синтез, свойства, анализ, применение // Изд.: Профессия,: 2007, С. 240.
7. *Неппер Дж.* «Стабилизация коллоидных дисперсий полимерами». Перевод с английского // М. Мир, 1986, С.487.
8. *Смирнова Г.О., Зубрев Н.И., Голубев В.Г., Митраков В.И.* Влияние различных пенообразователей на устойчивость и структурно-механические свойства вспененных глиноцементных тампонажных растворов // Сб. науч. тр. ЦНИИС «Методы преобразования свойств грунта при строительстве транспортных сооружений». – М.: ЦНИИС, 1991. – С. 77-82.

02.00.04

М.И. Панфилова к.х.н., М.В. Фомина к.ф.-м.н., И.С. Панфилова

Московский государственный строительный университет,
кафедра физики,
Москва, 012340@mail.ru

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ТЕХНИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНЪЕКЦИОННЫХ РАСТВОРОВ

В транспортном строительстве для улучшения механических и физико-химических свойств бетона вместо индивидуальных ПАВ используют технические моющие растворы.

Было установлено, что добавки технического моющего раствора на основе "ОП-10" приводят к получению более стабильной, вспененной системы, имеющей повышенную прочность.

Ключевые слова: *поверхностно-активные вещества, технические моющие растворы, кратность вспененной суспензии.*

Выбор того или иного способа, обеспечивающего долговечность сооружения в целом, обусловлен в первую очередь требованиями технико-экономической целесообразности и техническими возможностями строительства. Это позволяет существенно сократить объем и стоимость ремонтно-восстановительных работ. Использование специальных добавок к бетону приводит к существенному изменению химических процессов твердения бетона, обеспечивающих улучшение его механических и физико-химических свойств. Этими добавками являются модификаторы бетона, воздействие которых существенно изменяет структуру и свойства материала.

В настоящее время бетон и железобетон на цементной основе являются основными конструкционными материалами в строительстве. Наибольший интерес с точки зрения повышения их долговечности представляют полимерцементные бетоны. Устойчивость полимерных дисперсий обусловливается наличием в дисперсионной среде поверхностно-активных веществ-стабилизаторов.

В транспортном строительстве для приготовления инъекционных растворов вместо индивидуальных ПАВ используют технические моющие растворы. Наиболее широко применяются: "ОП-10", содержащее неионогенный ПАВ, и "Прогресс", содержащий анионоактивный ПАВ.

Для изучения влияния этих технических моющих средств на устойчивость вспененной бентонитовой суспензии к 100 мл 5%-ной бентонитовой суспензии добавляли различные количества "ОП-10" или "Прогресс".

На основании полученных данных было обнаружено, что с увеличением концентрации ПАВ кратность вспенивания несколько увеличивается, однако полученные системы не стабильны, и через 24 ч хранения образуется большое количество синеретической жидкости. При использовании технического моющего средства "ОП-10" в качестве пенообразователя кратность вспенивания суспензии несколько снижается, но повышается стабильность суспензии по сравнению с использованием "Прогресса".

На основании полученных данных оказалось, что скорость синерезиса для всех бентонитовых суспензий с добавлением "ОП-10" ниже, чем с тем же количеством "Прогресса"[4]. Большое значение для определения технологической пригодности вспененных систем имеет изменение их прочности в процессе затвердевания. Для изучения влияния добавок пенообразователей на структурообразование в инъекционных растворах к бентонитовой суспензии при перемешивании прибавляли 0,3% (к объему суспензии)

соответственно "Прогресса" и "ОП-10" и перемешивали 5 мин со скоростью 900 об/мин и затем вводили цемент. Во всех опытах водоцементное соотношение составляло 2:1. В полученных системах определяли предельное напряжение сдвига во времени. Отвержденные образцы хранили в эксикаторе с относительной влажностью 100%.

Были получены зависимости прочности вспененных систем от времени для различных технических моющих средств от времени хранения.

Было установлено, что нарастание прочности во вспененной системе при использовании в качестве пенообразователя технического моющего средства "ОП-10" происходит интенсивнее, чем в присутствии "Прогресса". Через 37 часов хранения вспененные образцы с добавкой "ОП-10" оказались почти в 6 раз более прочными, чем при использовании "Прогресса".

Таким образом, при изучении влияния технических моющих средств "Прогресса" и "ОП-10" на кратность, устойчивость и структурно-механические свойства вспененных бентонитовых и бентонитово-цементных систем было установлено, что добавки технического моющего раствора на основе "ОП-10" приводят к получению более стабильной, вспененной системы, имеющей повышенную прочность.

Список литературы

1. *Зубрев Н.И., Панфилова М.И.* Применение вспененных систем при строительстве железных дорог // Труды научно-практической конференции МГУПС (МИИТ) "Безопасность движения поездов". – М.: МГУПС, 2003. – С. 35.

2. *Зубрев Н.И., Горяйнова С.К., Панфилова М.И.* Пенообразующие растворы в транспортном строительстве // Тез. докл. IV межвузовской научно-методической конференции "Актуальные проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта", ч.2. – М.: РГОТУПС, 1999, С.69.

3. *Батраков В.Г.* Модифицированные бетоны. Теория и практика // Технопроект 1998. – С.768.

4. *Смирнова Г.О., Зубрев Н.И., Голубев В.Г., Митраков В.И.* Влияние различных пенообразователей на устойчивость и структурно-механические свойства вспененных глиноцементных тампонажных растворов // Сб. науч. тр. ЦНИИС "Методы преобразования свойств грунта при строительстве транспортных сооружений" М.: ЦНИИС, 1991. – С.77-82.

02.00.06

А.А. Хасанов, В.А. Ефимов д.х.н., Ж.С. Жулева

Ярославский государственный технический университет,
химико-технологический факультет,
кафедра «Химия и технология биологически активных
и высокомолекулярных соединений»,
Ярославль, hasanov36484@gmail.com, efimovva@ystu.ru

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСЧЕТА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Рассмотрены методологические вопросы расчета молекулярно-массового распределения (ММР) полимеров, образующихся в процессе обратимой живущей полимеризации. Предложен критерий, определяющий степень достоверности расчета ММР. Показано, что для расчета ММР полимеров, характеризующихся распределением Пуассона, максимальная длина рассчитываемой цепи должна быть не менее удвоенной среднечисленной степени полимеризации.

Ключевые слова: *молекулярно-массовое распределение, математическая модель, методология, расчет.*

В работах [1, 2] представлены результаты расчета ММР и коэффициента полидисперсности полимеров, образующихся при обратимой живущей полимеризации, которая может быть представлена в виде следующей схемы:

Схема 1

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

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

При анализе опубликованных работ обращает на себя внимание ряд моментов:

1. Несоответствие между теоретическими и рассчитанными, исходя из представленных авторами данных, значениями среднечисленной степени полимеризации ($\overline{P}_n$).

2. Длина максимально рассчитываемой полимерной цепи принимается приблизительно равной $\overline{P}_n$.

3. При конверсиях (α) близких к равновесным ($\alpha \geq 0.59$) коэффициент полидисперсности близок к единице, но характер распределения в существенной степени отличается от распределения Пуассона.

Обнаруженные противоречия заставили нас вернуться к повторному анализу обратимой живой полимеризации, представленной кинетической схемой 1.

Математическая модель указанной реакции была представлена авторами [1, 2] в виде следующей системы дифференциальных уравнений

Математическая модель 1

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

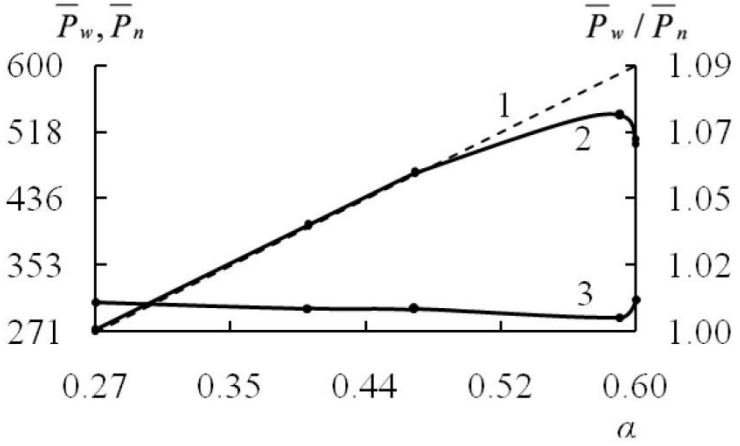
$$\frac{dR_j}{d\tau} = \frac{M}{C_0}(R_{j-1} - R_j) - \frac{\varepsilon}{C_0}(R_j - R_{j+1}); \quad j = 1,2,...$$

$$\frac{dM}{d\tau} = -M(\tau) + \varepsilon$$

где C_o – начальная концентрация активных центров, $\varepsilon = k_g/k_p$ – отношение констант скорости деполимеризации к константе скорости роста цепей, $d\tau = K_p C_0\, dt$ – приведенное время.

Нами проведен расчет ММР и молекулярно-массовых параметров полимера на разных стадиях процесса. Расчет производился в условиях, принятых в [1, 2], (концентрация мономера M_o = 10 моль/л, концентрация катализатора $C_o = 10^{-2}$ моль/л, равновесная концентрация мономера ε = 4 моль/л). При этом аналогично [1, 2] в качестве максимальной длины расчетной цепи (L) была принята цепь с L = 600.

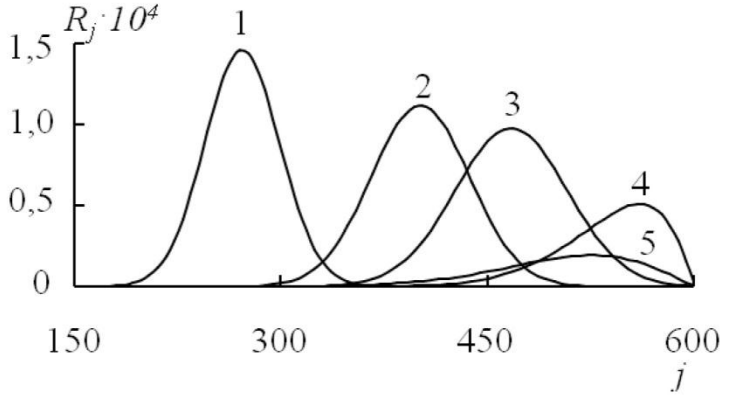
Результаты расчета показали, что при $\alpha \le 0.465$ полимер характеризуется распределением, близким к распределению Пуассона и значениями $\overline{P}_n$ и $\overline{P}_w$ практически совпадающими с теоретическими (рис. 1). При более глубоких степенях превращения ($\alpha > 0.465$) наблюдается значительное расхождение между расчетными и теоретическими значениями степеней полимеризации (рис. 1).



L = 600; $\overline{P}_w, \overline{P}_n$, зависимость: теоретическая (1), расчетная (2); $\overline{P}_w / \overline{P}_n$ (3)

Рис. 1 – Зависимость $\overline{P}_n$, $\overline{P}_w$ и коэффициента полидисперсности от конверсии мономера

Совершенно очевидно, что наблюдаемое различие расчетных и теоретических значений $\overline{P}_n$ и $\overline{P}_w$ обусловлено выбранной величиной L. В этих условиях (L = 600) расчет правой ветви распределения (рис. 2) ограничен заданной величиной L.

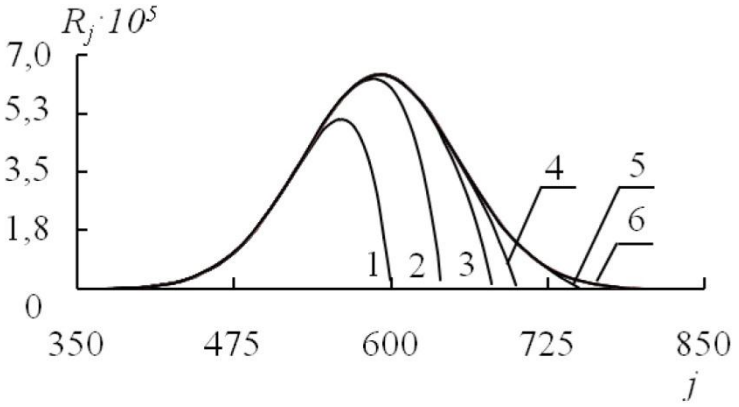


L = 600; α: 0.27(1), 0.4(2), 0.465(3), 0.59(4), 0.5999(5)

Рис. 2 – Зависимость вида функции ММР от конверсии

В связи с этим нами исследовано влияние L на характер распределения и значения $\overline{P}_n$ и $\overline{P}_w$. Результаты расчета ММР при различных L свидетельствуют, что при α = 0.465 увеличение L практически не влияет на характер распределения. Но при $\alpha > 0.465$ принятое

значение L оказывает существенное влияние на вид распределения (рис. 3) и значения молекулярно-массовых параметров.



$\alpha = 0.59$; L: 600(1), 640(2), 680(3), 700(4), 750(5), 800 … 1600(6)

Рис. 3 – Вид функции ММР в зависимости от L

Необходимо отметить, что при высоких конверсиях значения $\overline{P}_n$ и $\overline{P}_w$ с увеличением L более 600 непрерывно возрастают и асимптотически приближаются к некоторой постоянной величине.

При этом мы можем констатировать, что существует определенное множество значений L, которые позволяют рассчитать молекулярно-массовые параметры полимера с высокой точностью вне зависимости от выбранного L. Поэтому с методологической точки зрения встает задача определения минимального (критического) значения L ($L_{кр}$), при котором уже возможен расчет ММР и его параметров с необходимой точностью.

В связи с этим нами предложен критерий расчета ММР, обеспечивающий необходимый уровень точности:

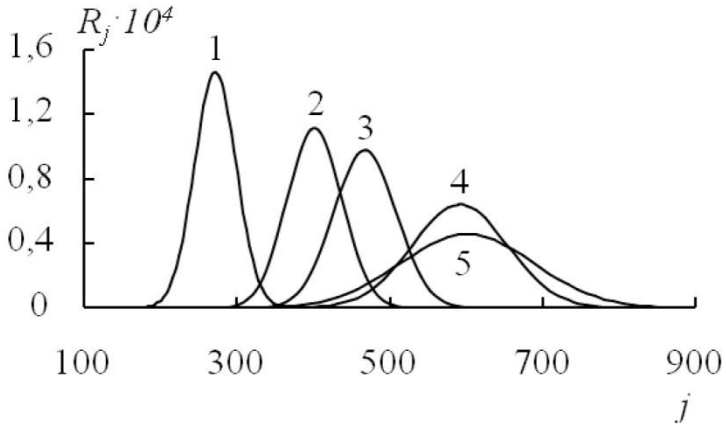
$$\frac{\overline{P}_{(n,w,z)}(j+1) - \overline{P}_{(n,w,z)}(j)}{\overline{P}_{(n,w,z)}(j+1)} < \delta, \qquad (1)$$

где δ – ошибка расчета.

К решению проблемы определения $L_{кр}$ можно подойти двумя путями: заложить в программу данный критерий, то есть произвести зацикливание расчета, или эмпирическим путем подобрать $L_{кр}$ и заложить его в программу. Второй путь является более удобным с точки зрения использования машинного времени.

Нами показано, что для $\alpha = 0.5999$ условию (1) при $\delta < 0.001$ соответствует $L_{кр} = 900$. С целью гарантированного расчета с $\delta < 0.001$ вводим коэффициент «риска» равный 1.333 и окончательно принимаем $L = 1200$.

Расчет ММР при выбранном значении L свидетельствует о том, что образующийся полимер характеризуется распределением Пуассона (рис. 4) и коэффициентом полидисперсности, равным 1.01, до глубоких степеней полимеризации.



$L = 1200$; α: 0.27(1), 0.4(2), 0.465(3), 0.59(4), 0.5999(5)

Рис. 4 – 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.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.13.06

[1]Р.И. Адгамов д.т.н., [2]С.В. Дмитриев д.т.н., [3]Т.Н. Каримов, [4]А.Х. Хайруллин д.т.н.

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет (КНИТУ-КАИ) им. А.Н. Туполева, институт авиации и наземного транспорта, кафедра технологии машиностроительных производств, Казань

[2]Камская государственная инженерно-экономическая академия, автомеханический факультет, кафедра дизайн и искусство интерьера, Набережные Челны

[3]Камская государственная инженерно-экономическая академия, факультет автоматизации и прогрессивных технологий, кафедра прикладная информатика и управление, Набережные Челны

[4]Камская государственная инженерно-экономическая академия, факультет автоматизации и прогрессивных технологий, кафедра автоматизация и информационные технологии, Набережные Челны

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

В работе представлена математическая модель оценки производительности автоматизированного станочного комплекса в процессе выбора структуры системы управления при широком диапазоне изменения исходных проектных данных многономенклатурного производства в машиностроении.

Ключевые слова: *автоматизация технологических процессов, производительность, математическое моделирование, теория массового обслуживания.*

Оценка производительности автоматизированного многономенклатурного машиностроительного производства важна для определения загрузки оборудования при проектировании технологических процессов обработки деталей в автоматизированных станочных комплексах (АСК). Примем, что потоки заявок на информационное обслуживание станочного оборудования – простейшие (пуассоновские), т.е. могут считаться состоящими из независимых статистических событий, а закон распределения времени обслуживания $\tau_{об}$ станков системой управления, среднее время безотказной работы $\tau_б$ и время восстановления, $\tau_в$ технологического оборудования с достаточной точностью могут быть выражены показательными функциями [3]. Рассмотрим автоматизированный производственный участок обобщенной схемы (рис.1) из m комплектов оборудования, обслуживаемых системой управления из n взаимозаменяемых устройств управления (УУ), работающего в режиме горячего резервирования.

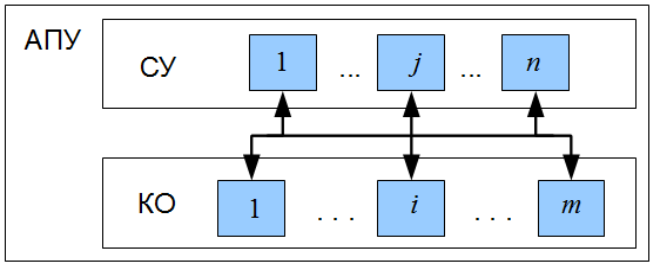


Рис.1 Автоматизированный производственный участок машиностроительного производства.

$АПУ$ – автоматизированный производственный участок; $КО$ – комплекты оборудования; $СУ$ – система управления; $1..i..m$ – номера обслуживаемых автоматизированной системой комплектов оборудования; $1...j..n$ – номера обслуживающих автоматизированный производственный участок устройств управления.

Обозначим через $\bar{\tau}_c$ среднее время самостоятельной работы станка между обращениями к УУ, включая технологические простои, $\bar{\tau}_{об}$ - среднее время безотказной работы УУ; $\bar{\tau}_{об}$ - среднее время обслуживания станка управляющим устройством при одном обращении, и введем обозначения для интенсивностей потоков: заявок от станка на обслуживание $\lambda_c = 1/\bar{\tau}_c$; обслуживания станка одним устройством управления $\mu_c = 1/\bar{\tau}_{об}$; отказов одного управляющего устройства $\lambda_y = 1/\bar{\tau}_б$; восстановления УУ $\mu_y = 1/\bar{\tau}_в$. Очевидно, что $\bar{\tau}_{об} = \sum_{i=1}^{a} \tau_i / a$, и $\bar{\tau}_c = \bar{\tau}_ц / a$, где $\bar{\tau}_ц$ - среднее время полного цикла обработки деталей, a - количество подпрограмм в одном полном цикле обработки, τ_i - время выполнения i-ой по очереди подпрограммы в технологическом процессе. Состояния системы управления в процессе работы могут быть выражены линейным графом (рисунок 2), отображающим постепенный переход от состояния полной исправности Y_o к состоянию полной неисправности Y_n, где индекс в обозначении Y_j узла графа соответствует числу неисправных в данном состоянии УУ.

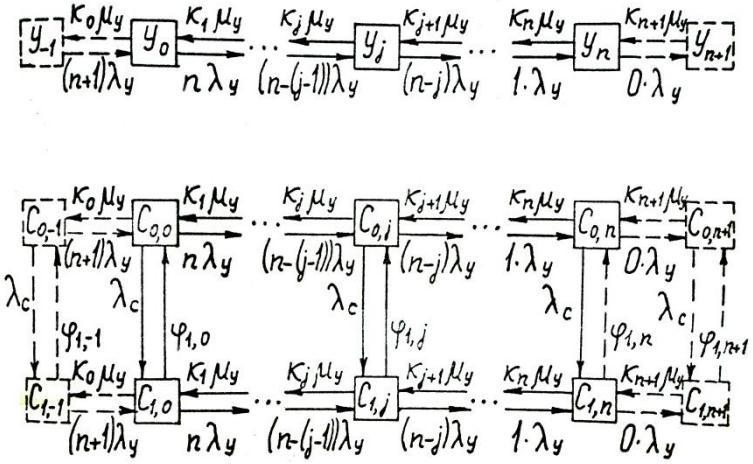


Рисунок 2 Граф состояний исправно работающего комплекта станочного оборудования и управляющей системы из n устройств управления с отказами и восстановлением.

Верхние ветви этого графа обозначенные $\kappa_j \mu_y$ показывают суммарную интенсивность восстановления УУ в каждом состоянии системы. Коэффициент κ_j обозначает число

одновременно работающих бригад по восстановлению УУ, причём считается, что с одним УУ может работать только одна бригада, т.е. $\kappa_j = \kappa_б$ при $j \geq \kappa_б$ и $\kappa_j = j$ при $j < \kappa_б$, где $\kappa_б$ - число ремонтных бригад. Нижние ветви графа отображают потоки отказов устройств управления в каждом состоянии системы. На рис. 2 показан также двухмерный граф состояний одного станка производственного участка, соответствующих состояниям системы управления, где через $C_{0,j}$ обозначены состояния независимой работы, а через $C_{1,j}$ - состояния обслуживания станка при j-ом состоянии системы управления. Интенсивность перехода из состояния независимой работы в состояние обслуживания определяется интенсивностью потока заявок на обслуживание λ_c от данного станка, а интенсивность обратного перехода $\varphi_{1,j}$ для каждого станка зависит от интенсивности потока обслуживания μ_c, числа станков $m_{1,j}$ находящихся на обслуживании, и состояния системы управления и может быть найдена из соотношений:

$$\varphi_{1,j}\begin{cases} \mu_c, & если \quad m_{1,j} \leq n - j; \\ (n - j)\mu_c / m, & если \quad m_{1,j} > n - j. \end{cases}$$

В соответствии с методом динамики средних [1] для рассматриваемой системы может быть составлена система дифференциальных уравнений смешанного типа, определяющих вероятности состояний системы управления и средние численности станков в каждом состоянии в функции времени. Присоединив к крайним узлам для симметрии всех состояний реального графа фиктивные ветви и фиктивные соотношения с нулевой вероятностью, обозначенные на рис 2 пунктиром и не меняющие свойств реального графа, можем записать для j-го состояния графа:

$$\begin{aligned}
&dP_j(\tau)/d\tau = (n-(j-1))\lambda_y P_{j-1}(\tau) - (\kappa_j\mu_y + (n-j)\lambda_y)P_j(\tau) + \kappa_{j+1}\mu_y P_{j+1}(\tau) \\
&dm_{0.j}(\tau)/d\tau = (n-(j-1))\lambda_y m_{0.j-1}(\tau) - (\kappa_j\mu_y + (n-j)\lambda_y + \lambda_c)m_{0.j}(\tau) + \\
&+ \kappa_{j+1}\mu_y m_{0.j+1}(\tau) + \varphi_{1,j}m_{1.j}(\tau); \\
&dm_{1.j}(\tau)/d\tau = (n-(j-1))\lambda_y m_{1.j-1}(\tau) - (\kappa_j\mu_y + (n-j)\lambda_y + \lambda_c)m_{1.j}(\tau) + \\
&+ \lambda_c m_{0.j}(\tau) + \kappa_{j+1}\mu_y m_{0.j+1}(\tau) + \varphi_{1,j}m_{1.j}(\tau); \\
&j = 0,n; \quad \sum_{j=0}^{n} P_j(\tau) = 1; \quad \sum_{j=0}^{n}(m_{0,j}(\tau) + (m_{1,j}(\tau)) = m,
\end{aligned} \tag{1}$$

где $P_j(\tau)$ - вероятность пребывания системы управления в рассматриваемый момент времени в j-м состоянии; $m_{0,j}(\tau)$ математическое ожидание числа станков, находящихся в состоянии независимой работы при j-м состоянии системы управления, в функции времени; $m_{1,j}(\tau)$ - математическое ожидание числа станков, находящихся в состоянии обслуживания или ожидания обслуживания, в функции времени;

$$P_{-1}(\tau) = P_{n+1}(\tau) = m_{0,-1}(\tau) = m_{1,-1}(\tau) = m_{0,n+1}(\tau) = m_{1,n+1}(\tau) = \varphi_{1,-1} = \varphi_{1,n+1} = 0.$$

Решая систему дифференциальных уравнений (1) при принятых выше допущениях получим переходный процесс работы рассматриваемого автоматизированного станочного комплекса при различных начальных условиях, определяемых конкретными значениями величин $\lambda_c, \mu_c, \lambda_y, \mu_y, \kappa_б, m, n$. При установившемся режиме работы производства величины $dP_j(\tau)/d\tau = dm_{0,j}(\tau)/d\tau = dm_{1,j}(\tau)/d\tau = 0$ и из системы алгебраических уравнений (1) в этом случае определяются параметры стационарной работы системы. Метод

динамики средних даёт осредненные показатели параметров состояния системы и применение его предпочтительно для больших и меняющихся значений m и небольших n. Достоинство этого метода - относительная простота системы уравнений, допускающая аналитическое решение для практически важных типов макроструктуры системы при $n=1$ и $n=2$. В свою очередь эти структурные схемы АСК выбраны по критерию общей надежности автоматизированного комплекса по методике изложенной в [1].

Выводы:

1. Сформулированы исходные данные для формализации процессов массового обслуживания в автоматизированных станочных комплексах многономенклатурного машиностроительного производства, включающих комплекты оборудования (станки) и систему управления.

2. Разработана математическая модель для исследования динамики состояний автоматизированного станочного комплекса в виде системы дифференциальных уравнений, описывающих граф состояний такого комплекса.

Список литературы

1. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969г – 576с.

2. *Дмитриев С.В.* Выбор структуры автоматизированной системы испытаний сложных объектов по критерию общей надежности – Электронная техника сер. управления качеством, стандартизация, метрология, испытания, 1981г. выпуск 6(92). стр.53-55.

3. *Ратмиров В.А., Гуревич В.М., Давыдов В.М.* Анализ систем управления группой станков с учетом надежности интерполяторов // Машиноведение. -1975.-№2.-С.8-14.

05.13.06

[1]Р.И. Адгамов д.т.н., [2]С.В. Дмитриев д.т.н., [3]Т.Н. Каримов, [4]А.Х. Хайруллин д.т.н.

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет (КНИТУ-КАИ) им. А.Н. Туполева, институт авиации и наземного транспорта, кафедра технологии машиностроительных производств, Казань

[2]Камская государственная инженерно-экономическая академия, автомеханический факультет, кафедра дизайн и искусство интерьера, Набережные Челны

[3]Камская государственная инженерно-экономическая академия, факультет автоматизации и прогрессивных технологий, кафедра прикладная информатика и управление, Набережные Челны

[4]Камская государственная инженерно-экономическая академия, факультет автоматизации и прогрессивных технологий, кафедра автоматизация и информационные технологии, Набережные Челны

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

В работе представлены результаты исследований математической модели оценки производительности автоматизированного станочного комплекса с централизированной системой управления в процессе выбора структуры системы управления при широком диапазоне изменения исходных проектных данных многономенклатурного производства в машиностроении.

Ключевые слова: *автоматизация технологических процессов, производительность, математическое моделирование, теория массового обслуживания.*

В работе [1] показана обобщенная математическая модель для определения вероятности состояния во времени автоматизированного станочного комплекса (АСК) многономенклатурного производства в машиностроении, состоящего из m станков и n устройств управления (УУ), в виде системы дифференциальных уравнений, описывающих развернутый граф состояний АСК. В настоящей статье покажем результаты исследований характеристик производительности АСК, состоящего из m станков при централизованной системе управления, т.е. при значении $n=1$, когда система дифференциальных уравнений (1)[1], с сохранением принятых обозначений величин, приобретает вид:

$$
\begin{aligned}
&dP_0(\tau)/d\,\tau = -\lambda_y P_0(\tau) + \mu_y P_1(\tau),\\
&dP_1(\tau)/d\,\tau = \lambda_y P_0(\tau) + \mu_y P_1(\tau),\\
&dm_{0,0}(\tau)/d\tau = -(\lambda_y + \lambda_c) m_{0,0}(\tau) + \mu_y m_{0,1}(\tau) + (\mu_c/m) m_{1,0}(\tau),\\
&dm_{0,1}(\tau)/d\tau = \lambda_y m_{0,0}(\tau) - (\mu_y + \lambda_c) m_{0,1}(\tau),\\
&dm_{1,0}(\tau)/d\tau = \lambda_c m_{0,0}(\tau) + (\lambda_y\, \mu_c/m) m_{1,0}(\tau) + \mu_y m_{1,1}(\tau),\\
&dm_{1,1}(\tau)/d\tau = \lambda_y m_{1,0}(\tau) + \lambda_c m_{0,1}(\tau) + \mu_y m_{1,1}(\tau),
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

Общее решение системы (1) имеет вид:

$$P_0(\tau) = \frac{\mu_y}{\mu_y + \lambda_y} - C_0 e^{r_1 \tau};\quad P_1(\tau) = \frac{\lambda_y}{\mu_y + \lambda_y} - C_0 e^{r_1 \tau};$$

$$m_{0,0}(\tau)=\frac{\mu_y+\lambda_c}{\lambda_y}C_1+\frac{\lambda_c-\lambda_y}{\lambda_y}C_2e^{r_2\tau}+AC_3e^{r_3\tau}+BC_4e^{r_4\tau},$$

$$m_{0,1}(\tau)=C_1+C_2e^{r_2\tau}+C_3e^{r_3\tau}+C_4e^{r_4\tau},$$

$$m_{1,0}(\tau)=\frac{m\lambda_c(\mu_y+\lambda_y+\lambda_c)}{\lambda_y\mu_c}C_1+\frac{m\lambda_c(-\mu_y-\lambda_y+\lambda_c)}{\lambda_y\mu_c}C_2e^{r_2\tau}-C_3e^{r_3\tau}-C_4e^{r_4\tau}$$

$$m_{1,1}(\tau)=\frac{m\lambda_c(\mu_y+\lambda_y+\lambda_c+\mu_c/m)}{\mu_y\mu_c}C_1+$$

$$+\frac{m\lambda_c(\mu_y+\lambda_y-\lambda_c-\mu_c/m)}{\lambda_y\mu_c}C_2e^{r_2\tau}-C_3e^{r_3\tau}-C_4e^{r_4\tau} \quad (2)$$

где

$$r_1=r_2=-\lambda_y-\mu_y,$$

$$r_3=(-2\lambda_c-\mu_y-\mu_c/m-\lambda_y+\sqrt{(\mu_y+\mu_c/m+\lambda_y)^2-4\mu_y\mu_c/m})\Big/2,$$

$$r_4=(-2\lambda_c-\mu_y-\mu_c/m-\lambda_y-\sqrt{(\mu_y+\mu_c/m+\lambda_y)^2-4\mu_y\mu_c/m})\Big/2,$$

$$A=(\mu_y-\mu_c/m-\lambda_y+\sqrt{(\mu_y+\mu_c/m+\lambda_y)^2-4\mu_y\mu_c/m})\Big/2\lambda_y,$$

$$B=(\mu_y-\mu_c/m-\lambda_y-\sqrt{(\mu_y+\mu_c/m+\lambda_y)^2-4\mu_y\mu_c/m})\Big/2\lambda_y,$$

$$C_1=\mu_y\lambda_y\mu_c/\{(\mu_y+\lambda_y)[\mu_y\mu_c/m+\lambda_c(\mu_y+\lambda_y+\mu_c/m+\lambda_c)]\} \quad (3)$$

Частные решения определяются начальными условиями процесса, т.е. величинами λ_y, μ_y, λ_c, μ_c, $P_0(\tau_o)$, $P_1(\tau_o)$, $m_{0,0}(\tau_0)$, $m_{1,0}(\tau_0)$, $m_{1,1}(\tau_0)$. Ниже представлены некоторые наиболее важные для практики частные решения системы при значениях $\lambda_y=0{,}01час^{-1}$, $\mu_y=0{,}99час^{-1}$, $\lambda_c=50час^{-1}$, соответствующих характерным для машиностроения параметрам технологических процессов изготовления деталей средней сложности и характеристикам обслуживающих устройств управления.

Полагая $\tau_o=0$, $P_0(0)=1$, $P_1(0)=0$, что соответствует исправному исходному состоянию УУ, получим:

$$P_0(\tau)=\frac{\mu_y}{\mu_y+\lambda_y}+\frac{\lambda_y}{\mu_y+\lambda_y}e^{-(\lambda_y+\mu_y)\tau},$$

$$P_1(\tau)=\frac{\mu_y}{\mu_y+\lambda_y}-\frac{\lambda_y}{\mu_y+\lambda_y}e^{-(\lambda_y+\mu_y)\tau}. \quad (4)$$

Полагая $P_0(0)=0$, $P_0(0)=1$, что соответствует неисправному начальному состоянию УУ, получим:

$$P_0(\tau)=\frac{\mu_y}{\mu_y+\lambda_y}-\frac{\lambda_y}{\mu_y+\lambda_y}e^{-(\lambda_y+\mu_y)\tau},$$

$$P_1(\tau)=\frac{\mu_y}{\mu_y+\lambda_y}+\frac{\lambda_y}{\mu_y+\lambda_y}e^{-(\lambda_y+\mu_y)\tau}.$$

На рисунке 1 показаны функции $P_0(\tau)$ и $P_1(\tau)$ для обоих частных решений.

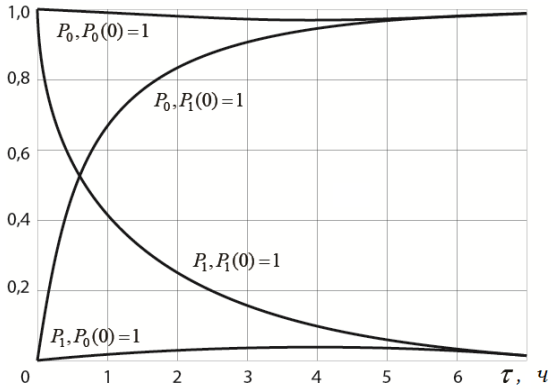


Рисунок 1. Переходные процессы изменения состояния устройства управления при различных исходных состояниях.

Этот процесс накладывается и на процесс изменения состояний технологического оборудования. На рисунке 2а показаны результаты параметрических расчётов функций $m_{0,0}(\tau)/m$ и $m_{1,0}(\tau)/m$ для различных значений m при исходном состоянии, соответствующем началу работы станочного комплекса и исправному УУ; т.е. при $m_{0,0}(0)=0$, $m_{0,1}(0)=0$, $m_{1,0}(0)=m$, $m_{1,1}(0)=0$, на рисунке 2б – те же функции, полученные при исходном состоянии, соответствующем началу работы производственного участка и неисправному УУ, т.е. при $m_{0,0}(0)=0$, $m_{0,1}(0)=0$, $m_{1,0}(0)=0$, $m_{1,1}(0)=m$. На рисунке 3 показаны итоговые "нагрузочные" характеристики АСК в виде зависимостей $m_{0,0}(m)$ и $m_{1,0}(m)$ при различном исходном быстродействии μ_c/λ_c системы, из которых видно, что для каждого значения μ_c/λ_c имеется определенное значение m, при котором использование системы оказывается оптимальным как с точки зрения загрузки устройства управления, так и с точки зрения использования технологического оборудования.

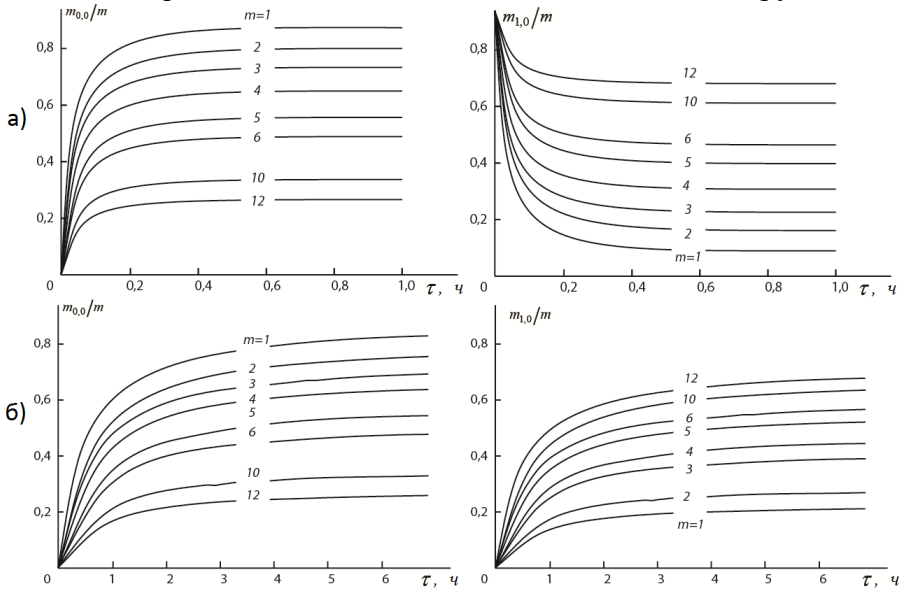


Рисунок 2 Переходные процессы в системе при исходном исправном – а, и неисправном – б состояниях УУ.

Это значение m соответствует значению $m_{1,0}=1$ при котором УУ постоянно загружено, а вероятность образования очереди близка к нулю. При $m_{1,0}<1$ электронный комплекс

недогружен и часть времени работает в режиме ожидания, а при $m_{1,0} > 1$ он перегружен и постоянно имеется часть станков, простаивающих в ожидании обслуживания. Учитывая высокую часовую стоимость работы станков нецелесообразно работать с перегрузкой системы.

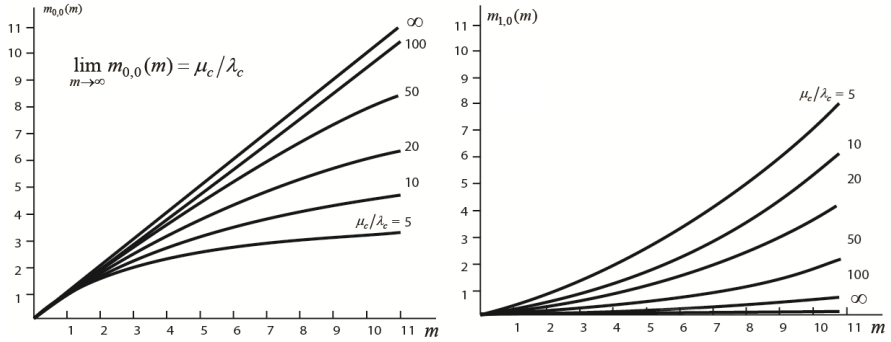


Рисунок 3. Зависимость числа независимо работающих $m_{0,0}(m)$ и обслуживаемых системой $m_{1,0}(m)$ станков от величин m и μ_c/λ_c.

Таким образом, при выбранных параметрах технологического процесса изготовления деталей в АПУ: $(\lambda_c = 50\ \text{час}^{-1})$ на базе устройства управления с исходным общим быстродействием $\mu_c = 100\ \text{час}^{-1}$ оказывается оптимальной структура с $m = 2$. При увеличении быстродействия системы до значения $\mu_c = 250\ \text{час}^{-1}$ оптимальной становится структура с $m = 3$, а при $\mu_c = 2500\ \text{час}^{-1}$ $m_{опт} = 8$.

Выводы:

1. Получены аналитические соотношения для определения переходных характеристик состояния системы управления станков в автоматизированном станочном комплексе с централизированной системой управления.

2. Даны рекомендации по определению числа станочного оборудования включаемого в структуры автоматизированных станочных комплексов с централизированной системой управления.

Список литературы

1. *Адгамов Р.И., Дмитриев С.В., Каримов Т.Н., Хайруллин А.Х.* Математическая модель для оценки производительности автоматизированного многономенклатурного производства в машиностроении // Научно-технический вестник Поволжья. - 2012, №6.

05.13.06

[1]Р.И. Адгамов д.т.н., [2]С.В. Дмитриев д.т.н., [3]Т.Н. Каримов, [4]А.Х. Хайруллин д.т.н.

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет (КНИТУ-КАИ) им. А.Н. Туполева, институт авиации и наземного транспорта, кафедра технологии машиностроительных производств, Казань

[2]Камская государственная инженерно-экономическая академия, автомеханический факультет, кафедра дизайн и искусство интерьера, Набережные Челны

[3]Камская государственная инженерно-экономическая академия, факультет автоматизации и прогрессивных технологий, кафедра прикладная информатика и управление, Набережные Челны

[4]Камская государственная инженерно-экономическая академия, факультет автоматизации и прогрессивных технологий, кафедра автоматизация и информационные технологии, Набережные Челны

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ГОРЯЧИМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В работе представлены результаты исследований математической модели оценки производительности автоматизированного станочного комплекса с горячим резервированием системы управления, при широком диапазоне изменения исходных проектных данных многономенклатурного производства в машиностроении.

Ключевые слова: *автоматизация технологических процессов, производительность, математическое моделирование, теория массового обслуживания.*

В работах [1,2] показана обобщенная математическая модель для определения вероятности состояний во времени автоматизированного производства в машиностроении, состоящего из m станков и n устройств управления (УУ) в виде системы дифференциальных уравнений, описывающих развернутый граф состояний автоматизированного станочного комплекса (АСК) и показаны результаты исследований характеристик производительности автоматизированного производственного участка (АПУ) машиностроительного предприятия, состоящего из m станков при централизованном управлении, т.е. при значении $n=1.$

В настоящей статье покажем результаты исследований характеристик производительности автоматизированного производственного участка машиностроительного предприятия, состоящего из m станков при централизированной системе управления с горячим резервированием УУ, т.е при значении $n=2$, и при числе бригад по восстановлению УУ $\kappa_б=2$, когда система дифференциальных уравнений (1)[1] с сохранением принятых обозначений величин приобретает вид:

$$dP_0(\tau)/d\,\tau=-2\lambda_y P_0(\tau)+\mu_y P_1(\tau);$$

$$dP_1(\tau)/d\,\tau=2\lambda_y P_0(\tau)+(\mu_y+\lambda_y)P_1(\tau)+2\mu_y P_2(\tau);$$

$$dP_2(\tau)/d\,\tau=\lambda_y P_1(\tau)+2\mu_y P_2(\tau);$$

$$dm_{0,0}(\tau)/d\tau=-(2\lambda_y+\lambda_c)m_{0,0}(\tau)+\mu_y m_{0,1}(\tau)+(2\mu_c/m)m_{1,0}(\tau);$$

$$dm_{0,1}(\tau)/d\tau=2\lambda_y m_{0,0}(\tau)-(\mu_y+\lambda_y+\lambda_c)m_{0,1}(\tau)+2\mu_y m_{0,2}(\tau)+(\mu_c/m)m_{1,1}(\tau);$$

$$dm_{0,2}(\tau)/d\tau = \lambda_y m_{0,1}(\tau) - (2\mu_y + \lambda_c)m_{0,2}(\tau);$$
$$dm_{1,0}(\tau)/d\tau = \lambda_c m_{0,0}(\tau) - (2\lambda_y + 2\mu_c/m)m_{1,0}(\tau) + \mu_y m_{1,1}(\tau);$$
$$dm_{1,1}(\tau)/d\tau = 2\lambda_y m_{1,0}(\tau) - (\mu_y + \lambda_y)m_{1,1}(\tau) + \lambda_c m_{0,1}(\tau) + 2\lambda_y m_{1,2}(\tau)$$
$$dm_{1,2}(\tau)/d\tau = \lambda_c m_{0,2}(\tau) + \lambda_y m_{1,1}(\tau) - 2\mu_y m_{1,2}(\tau), \quad (1)$$

где $P_0(\tau)$, $P_1(\tau)$, $P_2(\tau)$ - соответственно, вероятности состояний системы управления в функции времени при полной работоспособности, при отказе одного УУ, при отказе двух УУ (т.е при неработоспособной системе управления); $m_{0,0}(\tau)$, $m_{0,1}(\tau)$, $m_{0,2}(\tau)$ - математическое ожидание числа независимо работающих станков в составе АСК, соответственно при полной работоспособности системы, при отказе одного УУ и при полностью неработоспособной системе управления; $m_{1,0}(\tau)$, $m_{1,1}(\tau)$, $m_{1,2}(\tau)$ - математическое ожидание, числа станков, находящихся в состоянии обслуживания системой управления, соответственно, при полностью работоспособной системе управления при одном неисправном УУ, при полностью неработоспособной системе управления; m - общее число станков в составе АСК.

Общее решение этой системы для дифференциальных уравнений в части, относящейся к системе управления имеет вид:

$$P_0(\tau) = \mu_y^2/(\mu_y + \lambda_y) - C_1(\mu_y/\lambda_y)e^{-2(\mu_y+\lambda_y)\tau} + C_2 e^{-2(\mu_y+\lambda_y)\tau};$$
$$P_1(\tau) = 2\mu_y\lambda_y/(\mu_y + \lambda_y)^2 + C_1((\mu_y - \lambda_y)/\lambda_y)e^{-(\mu_y+\lambda_y)\tau} - 2C_2 e^{-2(\mu_y+\lambda_y)\tau};$$
$$P_2(\tau) = \lambda_y^2/(\mu_y + \lambda_y)^2 + C_1 e^{-(\mu_y+\lambda_y)\tau} + C_2 e^{-2(\mu_y+\lambda_y)\tau}. \quad (2)$$

На рисунке 1 показаны переходные процессы состояний такого УУ при наиболее интересных для практики исходных состояниях: 1) $P_0(0)=0$, $P_1(0)=1$, $P_2(0)=0$, и 2) $P_0(0)=0$, $P_1(0)=0$, $P_2(0)=1$, из которых видно, что определяющей характеристикой процесса является μ_y - быстродействие восстановления УУ.

Ввиду громоздкости общего решения для станочного комплекса, приведем только стационарные нагрузочные характеристики АСК при взятых ранее численных значениях параметров технологического процесса и оборудования (рис.2). При необходимости более детального расчёта состояния небольшого автоматизированного станочного комплекса может быть использован математический аппарат теории массового обслуживания с составлением системы однотипных дифференциальных уравнений Колмогорова [3], описывающих состояния системы управления. На рисунке 3 показан фрагмент графа состояний такой системы с узлом, соответствующим j,i-му состоянию системы, где j - число вышедших из строя управляющих устройств, i - число находящихся на обслуживании станков. Для состояния (j,i) такого графа можно записать систему дифференциальных уравнений:

$$dP_{j,i}(\tau)/d\tau = (m-(i-1))\lambda_c P_{j,i-1}(\tau) - (\varphi_{j,i} + \kappa_j\mu_y + (m+i)\lambda_c + (n-j)\lambda_y)P_{j,i}(\tau) +$$
$$+ \kappa_{j+1}\mu_y P_{j+1,i}(\tau) + \varphi_{j,i+1}P_{j,i+1}(\tau) + (n-(j-1)\lambda_y P_{j-1,i}(\tau);$$

$$\varphi_{j,i} = \begin{cases} (n-j)\mu_c & при \quad n-j \le i, \\ i\mu_c & при \quad n-j > i; \end{cases}$$

$$\kappa_j = \begin{cases} \kappa_б & при \quad j \ge \kappa_б, \\ j & при \quad j < \kappa_б; \end{cases}$$

$$i=\overline{0,m};\ j=\overline{0,n};\ P_{j,-1}(\tau);P_{j,m+1}(\tau)=P_{-1,i}(\tau)=P_{n+1,i}(\tau)=0;\ \sum_{j=0}^{n}\sum_{i=0}^{m}P_{j,i}(\tau)=1. \qquad (3)$$

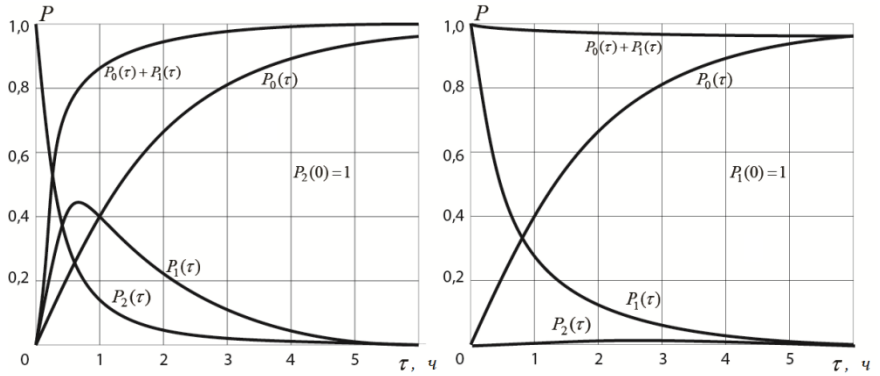


Рисунок 1. Переходные процессы состояния системы управления из двух управляющих устройств при различных исходных состояниях.

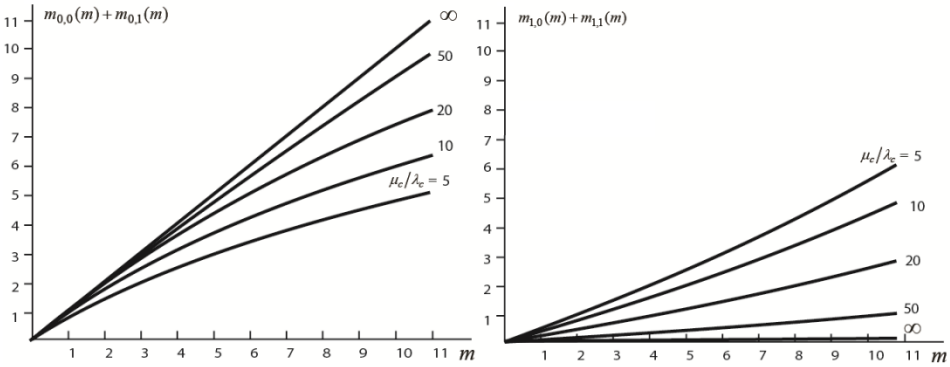


Рисунок 2. Стационарные нагрузочные характеристики АСК при однократном горячем резервировании УУ.

Решение этой системы уравнений позволяет определить вероятность каждого из возможных состояний системы в функции времени, а следовательно, определить простои станков, управляющих устройств и ремонтных бригад и другие эксплуатационные характеристики. Средняя загрузка бригад по обслуживанию и ремонту управляющего оборудования определяется как сумма:

$$\overline{\kappa}_б(\tau)=\sum_{j=0}^{n}\sum_{i=0}^{m}P_{j,i}(\tau) \qquad (4)$$

Коэффициент загрузки бригад $\xi_б(\tau)=\overline{\kappa}_б(\tau)/\kappa_б$ (5)

Среднее количество работающих УУ:

$$\overline{n}(\tau)=\sum_{j=0}^{n}\sum_{i=0}^{m}(n-j)P_{j,i}(\tau) \qquad (6)$$

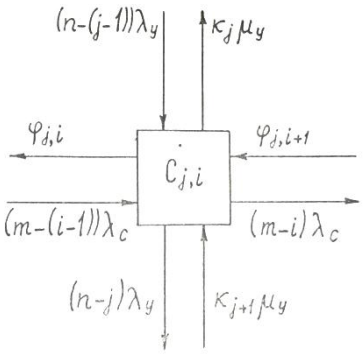


Рисунок 3. Узел графа состояний системы из n УУ с отказами и восстановлением и m исправно функционирующих станков.

Коэффициент использования УУ:

$$\xi_y(\tau) = n(\tau)/n \tag{7}$$

Среднее количество независимо работающих станков:

$$m(\tau) = \sum_{j=0}^{n}\sum_{i=0}^{m}(m-j)P_{j,i}(\tau) \tag{8}$$

Коэффициент загрузки станков

$$\xi_y(\tau) = \overline{m}(\tau)/m \tag{9}$$

Аналогично могут быть найдены и другие показатели работы АСК.

Выводы:

1. Показана математическая модель и эксплуатационные характеристики автоматизированного станочного комплекса при централизованной системе управления с горячим резервированием УУ.

2. Предложены важные для проектной практики варианты использования моделей АСК, основанных на математическом аппарате теории массового обслуживания, при определении характеристик загруженности станочного оборудования, УУ, персонала автоматизированных станочных комплексов.

Список литературы

1. *Адгамов Р.И., Дмитриев С.В., Каримов Т.Н., Хайруллин А.Х.* Математическая модель для оценки производительности автоматизированного многономенклатурного производства в машиностроении // Научно-технический вестник Поволжья. - 2012, №6.

2. *Адгамов Р.И., Дмитриев С.В., Каримов Т.Н., Хайруллин А.Х.* Производительность автоматизированного производственного участка машиностроительного предприятия при централизованной системе управления // Научно-технический вестник Поволжья. - 2012, №6.

3. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969г – 576с.

05.13.18

А.С. Андреев д.ф.-м.н., А.О. Артемова

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

ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ГОЛОНОМНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ[1]

В работе рассматривается задача об управлении движением голономной механической системы, описываемой уравнениями Лагранжа второго рода. Ставится задача построения непрерывного и релейного управлений, обеспечивающих нелокальную стабилизацию спектра программных движений такой системы. Решение этой задачи применимо для моделирования управляемого движения манипуляторов, мобильных роботов и других робототехнических систем. Эффективность представленного алгоритма управления показана на примере математического моделирования управляемого движения трехзвенного манипулятора.

Ключевые слова: *математическое моделирование, голономная механическая система, управление движением, стабилизация, функция Ляпунова, робототехническая система, трехзвенный манипулятор.*

Задача об управлении программными движениями ряда механических систем сводится к задаче о стабилизации положения равновесия голономной механической системы с нестационарными, голономными, идеальными связями, положение которой определяется n обобщенными координатами $q^{'} = (q_1, q_2, ..., q_n)$. Кинетическая энергия системы представима в виде

$$T = T_2 + T_1 + T_0,$$
$$T_2(t,q,\dot{q}) = \tfrac{1}{2}\dot{q}^{'}A(t,q)\dot{q}, \qquad (1)$$
$$T_1(t,q,\dot{q}) = B^{'}(t,q)\dot{q}, \quad T_0(t,q) = C(t,q),$$

где $A(t,q)$ – матрица размерности $n \times n$ является положительно-определенной, $B(t,q)$ – матрица-столбец размерности $n \times 1$, $C(t,q)$ – скалярная функция, $(\ )^{'}$ – операция транспонирования. Предполагаем, что входящие в (1) функции переменных (t,q) определены и непрерывно-дифференцируемы в области $R^{+} \times R^{n}$.

При этом движение системы под действием управляющих сил U и других обобщенных сил Q (внешних, сил взаимодействия точек системы, трения и т.д.) описывается уравнениями Лагранжа

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}\right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q + U. \qquad (2)$$

Подставив в уравнения движения представление для кинетической энергии (1), приведем их к виду

[1] Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0373 «Развитие методов и алгоритмов исследования задач об управлении нелинейными механическими системами и компьютерное моделирование управляемого движения системы тел».

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T_2}{\partial \dot{q}}\right)-\frac{\partial T_2}{\partial q}=\frac{\partial T_0}{\partial q}+G'\dot{q}-\frac{\partial B}{\partial t}+Q+U,\ \ G(t,q)=\left(\frac{\partial B}{\partial q}\right)'-\frac{\partial B}{\partial q}=-G', \qquad (3)$$

а затем к системе уравнений второго порядка

$$A(t,q)\ddot{q}=Q_1(t,q,\dot{q})+U, \qquad (4)$$

где вектор Q_1 включает в себя все недостающие слагаемые уравнений (3)

$$Q_1=\frac{\partial T_0}{\partial q}+G'\dot{q}-\frac{\partial B}{\partial t}-\frac{\partial A}{\partial t}+\left\{\dot{q}'C\dot{q}\right\}+Q,$$

$\left\{\dot{q}'C\dot{q}\right\}=\left\{\dot{q}'C_1\dot{q},\dot{q}'C_2\dot{q},\ldots,\dot{q}'C_n\dot{q}\right\}$ – n-мерный вектор соответственных квадратичных форм.

Пусть $X=\left\{\left(q^0(t),\dot{q}^0(t)\right):[t,+\infty)\to R^n\right\}$ есть заданный спектр программных движений в виде ограниченных трижды непрерывно-дифференцируемых функций $q=q^0(t)$ с ограниченными производными при $t\in[t,+\infty)$.

Пусть $\left(q_0(t),\dot{q}_0(t)\right)$ – какое-либо выбранное движение, реализуемое управлением $U=U^0(t)$, и согласно (4)

$$U^0(t)=A\left(t,q^0(t)\right)\ddot{q}^0(t)-Q_1\left(t,q^0(t),\dot{q}^0(t)\right). \qquad (5)$$

Введем возмущения $x=q-q_0(t)$ и управляющие воздействия $U(t,x,\dot{x})=U-U^0(t)$, формируемые на основе обратной связи. Уравнения возмущенного движения запишутся в виде:

$$\begin{aligned}
&A\left(t,q^0(t)+x\right)\ddot{x}+\left(A\left(t,q^0(t)+x\right)-A\left(t,q^0(t)\right)\right)\ddot{q}^0(t)=\left\{\dot{x}'S_1\left(t,q^0(t)+x\right)\dot{x}\right\}+\\
&+2\left\{\left(\dot{q}^0(t)\right)'S_1\left(t,q^0(t)+x\right)\dot{x}\right\}+\left\{\left(\dot{q}^0(t)\right)'S_1\left(t,q^0(t)+x\right)-S_1\left(t,q^0(t)\right)\dot{q}^0(t)\right\}+\\
&+G\left(t,q^0(t)+x\right)\dot{x}+\left(G\left(t,q^0(t)+x\right)-G\left(t,q^0(t)\right)\right)\dot{q}^0(t)-\frac{\partial A}{\partial t}\left(t,q^0(t)+x\right)\dot{x}- \qquad (6)\\
&-\left(\frac{\partial A}{\partial t}\left(t,q^0(t)+x\right)-\frac{\partial A}{\partial t}\left(t,q^0(t)\right)\right)\dot{q}^0(t)+\frac{\partial T_0}{\partial q}\left(t,q^0(t)+x\right)-\frac{\partial T_0}{\partial q}\left(t,q^0(t)\right)-\\
&-\frac{\partial B}{\partial t}\left(t,q^0(t)+x\right)-\frac{\partial B}{\partial t}\left(t,q^0(t)\right)+Q\left(t,q^0(t)+x,\dot{q}^0(t)+\dot{x}\right)-Q\left(t,q^0(t),\dot{q}^0(t)\right)+U(t,x,\dot{x})+\mu(t),
\end{aligned}$$

где $\mu(t)\equiv 0$ при выполнении условия (5) и $\mu(t)\neq 0$ в противном случае.

Выделив члены, линейные по $\dot{x}$, представим уравнения (6) в следующей форме

$$A_1(t,x)\ddot{x}=\left\{\dot{x}'S_1(t,x)\dot{x}\right\}+D_1(t,x)\dot{x}+G_1(t,x)\dot{x}+R(t,x)+Q_1^x(t,x,\dot{x})+U(t,x,\dot{x})+\mu(t),$$

где матрицы D_1 и G_1 соответственно симметричная и кососимметричная:

$$D_1^T=D_1,\quad G_1^T=-G_1,$$

функции $R(t,x)$ и Q_1 определяются изменением составляющих параметров и внешних сил системы на возмущенном движении $\left(x(t),\dot{x}(t)\right)$:

$$\begin{aligned}
&R(t,0)=0,\quad Q_1^x(t,x,\dot{x})=Q\left(t,q^0(t)+x,\dot{q}^0(t)+\dot{x}\right)-Q\left(t,q^0(t),\dot{q}^0(t)\right)=\\
&=Q_x(t,x)+Q_1(t,x)\dot{x}+\left\{\dot{x}'Q_2^x(t,x)\dot{x}\right\}+Q_3^x(t,x,\dot{x}).
\end{aligned}$$

Выразим эти уравнения относительно $\ddot{x}$:

$$\ddot{x}=A_1^{-1}\left(\left\{\dot{x}'S_1\dot{x}\right\}+D_1\dot{x}+G_1\dot{x}+R_x f+Q_1\dot{x}+\left\{\dot{x}'Q_2\dot{x}\right\}+Q_3+U+\mu\right). \qquad (8)$$

Пусть $f=f(t,x)$ – есть некоторая вектор-функция, определяемая нелинейностью системы и структуры обратной связи, $f(t,0)\equiv 0$.

Построим непрерывное управляющее воздействие U, обеспечивающее стабилизацию невозмущенного движения $x = \dot{x} = 0$ системы (8), в виде

$$U = \Psi\left(t, H(t)\dot{x} + f\left(t, x\right)\right), \tag{9}$$

где $\Psi(t, y)$ – есть некоторая вектор-функция, определяющая усиление в структуре обратной связи, $\Psi(t, 0) = 0, \Psi \in C^1$, H – матрица, $H \in R^{n\times n}$.

Рассмотрим наиболее простой вид для U:

$$U = B\left(H\dot{x} + f\left(t, x\right)\right), \quad B, \in R^{n\times n} = const. \tag{10}$$

Введем функцию Ляпунова

$$V = \tfrac{1}{2}\left(H\dot{x} + f\right)' M\left(H\dot{x} + f\right) + \Pi(t, x),$$

где положительно-определенная матрица $M \in R^{n\times n}$, $M = const$ и определенно-положительная, допускающая бесконечно малый высший предел функция $\Pi = \Pi(t, x)$ находятся из условия $\dot{V} \le 0$, в предположении $\mu(t) \equiv 0$ или при условии (5).

Находим производную $\dot{V}$ в силу (8):

$$\dot{V} = \left(H\dot{x} + f\right)' M\left(HA_3^{-1}\left(\left\{\dot{x}' S_1 \dot{x}\right\} + D_1\dot{x} + G_1\dot{x} + R_x f + Q_1\dot{x} + \left\{\dot{x}' Q_2 \dot{x}\right\} + Q_3 + Q_x f + B\left(H\dot{x} + f\right)\right) + \right.$$
$$\left. + F_t + F_x\dot{x}\right) + \Pi_t + \Pi_x\dot{x} = \dot{x}'\left[H' MHA_3^{-1}\left(D_1 + G_1 + Q_1 + BH + F_x\right)\right]\dot{x} +$$
$$+\left(H\dot{x} + f\right)' MHA_3^{-1}\left(\left\{\dot{x}' S_1 \dot{x}\right\} + \left\{\dot{x}' Q_2 \dot{x}\right\} + Q_3\right) + \left[f' MHA_3^{-1}\left(D_1 + G_1 + Q_1 + F_x\right) + \Pi_x + \right.$$
$$\left. + f'\left(Q_x' + R_x' + B'\right)A_3^{-1}H' MH\right]\dot{x} + f' MHA_3^{-1}\left(Bf + F_t\right) + \Pi_t.$$

При малых $\|x\|$ и $\|\dot{x}\|$ для $\dot{V}$ находим оценку $\dot{V} \le -\beta_0\|\dot{x}\|^2$, если выполнены следующие соотношения

$$\dot{x}' N_1 \dot{x} \equiv \dot{x}' H' MHA_3^{-1}\left(D_1 + G_1 + Q_1 + BH + F_x\right)\dot{x} \le -2\beta_0\|\dot{x}\|^2,$$
$$N_2 = f' MHA_3^{-1}\left(D_1 + G_1 + Q_{11} + F_x\right) + \Pi_x + f'\left(Q_x' + R_x' + B'\right)A_3^{-1}H' MH, \tag{11}$$
$$N_3 - N_2' N_1^{-1} N_2 \le 0, \quad N_3 = f' MHA_3^{-1}\left(Bf + F_t\right) + \Pi_t.$$

Множество положений равновесия $\dot{x} = x = 0$ системы (8) является изолированным, если для $x \in \left\{\|x\| \le H_0 > 0\right\}$:

$$\Phi(t, x) = R(t, x) + Q_{12}(t, x) + Bf\left(t, x\right) = 0 \Leftrightarrow x = 0, \tag{12}$$

при этом свойство (12) является невырожденным при $t \to +\infty$.

На основании основной теоремы из [1] получаем следующий результат о построении управляющего воздействия, обеспечивающего стабилизацию любого программного движения $\left(\dot{q}^0(t), q^0(t)\right) \in L$ при условии (5).

Результат 1. Пусть матрица H управляющего сигнала и матрица B коэффициентов усиления таковы, что можно подобрать матрицу M, при которой для любых $\left(\dot{q}(t), q(t)\right) \in L$ имеют место соотношения (11) и (12). Тогда управляющее воздействие (10) решает поставленную задачу о стабилизации.

Воздействие (10) будет также решать задачу о стабилизации в целом или глобально, если первое условие (11) в выборе B заменить на условие

$$\dot{x}' N_1 \dot{x} + \left(H\dot{x} + f\right)' MHA_3^{-1}\left(\left\{\dot{x}' S_1 \dot{x}\right\} + Q_2\right) \le -2\beta_0\|\dot{x}\|^2, \tag{13}$$

и потребовать невырожденность свойства (11) при любых $x \in R^n$:

$$\left(\forall \varepsilon > 0\right)\left(\exists \delta = \delta(\varepsilon) > 0\right)\left(\forall x : \|x\| \ge \varepsilon\right)\left\|\Phi(t, x)\right\| \ge \delta. \tag{14}$$

Решение задачи при мгновенных кусочно-непрерывных управлениях. При невыполнении условия (5), задача о стабилизации движения $\left(q_0(t),\dot{q}_0(t)\right)$ может быть решена на основе релейного управления. Такой вид управления может быть эффективно использован и при ограничениях на управления.

Будем искать управляющее воздействие $U_1\left(t,x,\dot{x}\right)$ среди кусочно-непрерывных управлений, разрывных на поверхности вида

$$\dot{x}_i+\psi_i\left(t,x\right)=0,\quad \psi_i\left(t,0\right)=0\quad \left(i=1,\ldots,n\right),$$

где функции $\psi_i\in C^1\left(R^+\times D\right)$, при этом производные $\frac{\partial\psi_i}{\partial t},\frac{\partial\psi_i}{\partial x_j}\left(i,\,j=1,\ldots,n\right)$, являются ограниченными. Тем самым выполнены условия существования и единственности решения уравнения

$$\dot{x}=-\Psi\left(t,x\right),\quad \Psi=\left(\psi_1,\psi_2,\ldots,\psi_n\right)'. \tag{15}$$

При этом будем предполагать, что решение $x=0$ системы (15) является равномерно асимптотически устойчивым с некоторой областью равномерного притяжения $\left\{\left\|q\right\|\le\Delta>0\right\}$.

Замечание 1. Можно полагать, что для каждого $\left(q^0(t),\dot{q}^0(t)\right)\in X$ строится отдельное управляющее воздействие $U=U^1\left(t,x,\dot{x}\right)$ со своей поверхностью разрыва $\dot{x}=-\Psi\left(t,x\right)$, а можно принять, что весь класс управлений U формируется в виде зависимостей $u=u\left(t,q-q^0(t),\dot{q}-\dot{q}^0(t)\right)$, разрывных на поверхностях $\dot{q}=\dot{q}^0(t)-\Psi\left(t,q-q^0(t)\right)$ с заданным законом разрывности $\dot{x}=-\Psi\left(t,x\right)$. На основании работы [2] получен следующий результат.

Результат 2. Пусть $\left(q_0(t),\dot{q}_0(t)\right)$ есть программное движение системы (2). Тогда управляющее воздействие $U=B\Delta\left(\dot{x}+\Psi\left(t,x\right)\right)$, $\Delta'=\left(sign\left(\left(\dot{x}+\Psi\left(t,x\right)\right)_1\right),\ldots,sign\left(\left(\dot{x}+\Psi\left(t,x\right)\right)_n\right)\right)$ решает задачу о стабилизации этого программного движения. В частности, при управляющем воздействии

$$U^1=\left(U_1,\ldots,U_n\right)',\quad U_i=-\mu\cdot sign\left(\dot{x}_i+\psi_i(t,x)\right),\quad \left(i=1,\ldots,n\right),$$

где число μ удовлетворяет неравенству

$$\mu\ge 2\left(\left(a_{10}+na_{11}\Delta\right)\Delta^2+na_0\left(\psi_{10}+\psi_{11}\Delta\right)+q_0\right), \tag{16}$$

$a_{10},a_{11},a_0,\psi_{10},\psi_{11},q_0$ есть нормы соответствующих векторов, матриц и семейств матриц $\frac{\partial A_1}{\partial t},\left\{\frac{\partial A_1}{\partial x}\right\},\frac{\partial\Psi}{\partial t},\frac{\partial\Psi}{\partial x},A_1,Q_2$.

Решение задачи для кусочно-непрерывных управлений с запаздывающей обратной связью. Теоремы из [3] позволяют исследовать задачу о стабилизации движения $\left(q_0(t),\dot{q}_0(t)\right)$ при учете запаздывания в структуре обратной связи в классе кусочно-непрерывных управляющих воздействий, разрывных на поверхности вида

$$\dot{\varphi}_i(0)+\psi_i\left(t,\varphi\left(-h(t)\right)\right)=0,\quad \psi_i\left(t,0\right)=0\quad \left(i=1,\ldots,n\right),$$

при условии равномерной асимптотической устойчивости нулевого решения уравнения с запаздыванием

$$\dot{x}(t)=-\Psi\left(t,x\left(t-h(t)\right)\right),\quad \Psi=\left(\psi_1,\psi_2,\ldots,\psi_n\right)'. \tag{17}$$

Результат 3. Пусть $\left(q_0(t),\dot{q}_0(t)\right)$ есть программное движение системы (2) при управлении $U^0(t)$, определяемом равенством (5). Тогда управляющее воздействие вида

$$U=U^0(t)+U^1,\quad U^1=U^1\left(t,\dot{x}(t)+\Psi\left(t,x\left(t-h(t)\right)\right)\right),\quad 0\le h(t)\le h_0$$

с оценкой запаздывания h_0, определяемого из равномерной асимптотической устойчивости уравнения (17), решает задачу о стабилизации этого движения.

В частном случае этот результат имеет место, когда U^1 определяется равенством

$$U^1 = (U_1,\ldots,U_n)', \quad U^1 = -\mu_0 \cdot sign\left(\dot{x}_i + \Psi_i\left(t, x\left(t-h(t)\right)\right)\right), \quad \mu_0 > 0.$$

При выборе функций Ψ_i в виде

$$\Psi_i\left(t,\varphi\left(t-h(t)\right)\right) = f\left(\varphi\left(t-h(t)\right)\right), \quad (i=1,\ldots,n),$$

величина запаздывания h_0 находится из неравенства $h_0 m < 1,\ m = \max\left(\left|\frac{\partial f}{\partial x}\right|, |x| \le \Delta > 0\right)$.

На основании полученных результатов может быть представлен следующий алгоритм.

Алгоритм решения задачи о декомпозиции управления общей механической системы, описываемой уравнениями (2):

1. выбор закона движения (15) или (17) с точки зрения оптимального решения задачи;
2. анализ управления U^1, обеспечивающего движение по этому закону;
3. нахождение параметров управления U^1, исходя из параметров системы, величины действующих неуправляющих сил $Q(t,q,\dot{q})$ и управляющих сил $U^0(t)$;
4. моделирование процесса управления на ЭВМ с целью анализа процесса управления.

В качестве примера рассмотрим задачу о стабилизации программного движения пространственного трёхзвенного манипулятора.

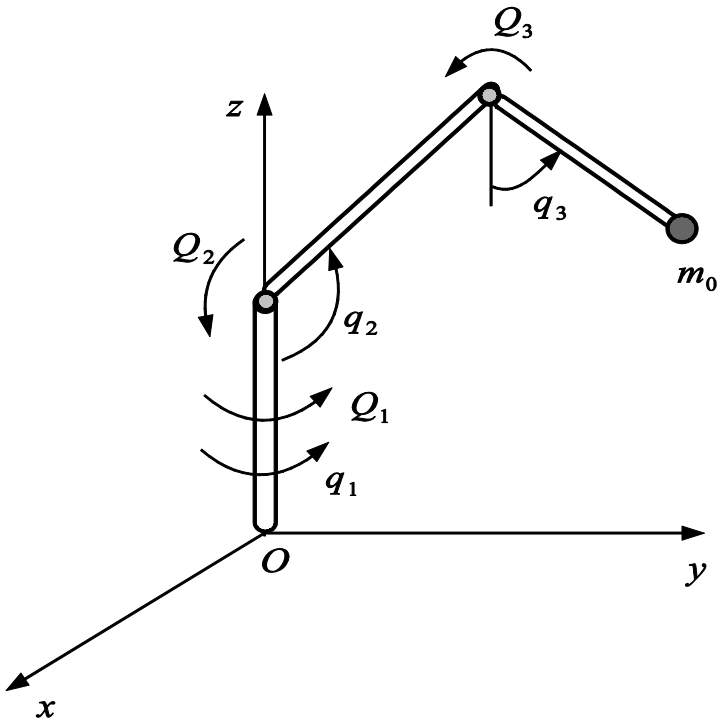


Рис. 1 – Трехзвенный манипулятор

Манипулятор состоит из трёх звеньев (рис. 1). Первое звено (вертикальная колонка) опирается на основание в точке O, второе и третье звенья расположены в вертикальной плоскости. В схвате третьего звена находится перемещаемый груз.

Обозначим: $q_i\ (i=1,2,3)$ – обобщённые координаты системы – углы поворотов звеньев манипулятора, l_i – длина звена, m_i – масса i-го звена, m_0 – масса груза, $m_{30} = m_3 + m_0$, J_{01} – момент инерции первого звена относительно оси вращения, r_2 и r_3 – расстояния от центра тяжести второго звена и третьего звена с грузом соответственно до оси вращения

этого звена, $k_i\ (i=1,2,3)$ – коэффициенты моментов сил вязкого трения, действующих в шарнирах, $Q_i\ (i=1,2,3)$ – управляющие моменты.

Движение системы описывается следующими уравнениями:

$$\begin{cases}\left(J_{01}+m_2r_2^2\sin^2 q_2+m_{30}\left(l_2\sin q_2+r_3\sin q_3\right)^2\right)\ddot{q}_1+\\ +2\left(m_2r_2^2\sin q_2\cos q_2+m_{30}\left(l_2\sin q_2+r_3\sin q_3\right)l_2\cos q_2\right)\dot{q}_1\dot{q}_2+\\ +2m_{30}\left(l_2\sin q_2+r_3\sin q_3\right)r_3\cos q_3\dot{q}_1\dot{q}_3+k_1\dot{q}_1=Q_1,\\ \left(m_2r_2^2+m_3l_2^2\right)\ddot{q}_2+\frac{1}{2}m_{30}l_2r_3\cos\left(q_2-q_3\right)\ddot{q}_3+\frac{1}{2}m_{30}l_2r_3\sin\left(q_2-q_3\right)\dot{q}_3^2-\\ -\left(m_{30}\left(l_2\sin q_2+r_3\sin q_3\right)l_2+m_2r_2^2\sin q_2\right)\cos q_2\dot{q}_1^2+\left(m_2r_2^2+m_{30}l_2\right)g\sin q_2+k_2\dot{q}_2=Q_2,\\ \frac{1}{2}m_{30}l_2r_3\cos\left(q_2-q_3\right)\ddot{q}_2+m_{30}r_3^2\ddot{q}_3-\frac{1}{2}m_{30}l_2r_3\sin\left(q_2-q_3\right)\dot{q}_2^2-\\ -m_{30}\left(l_2\sin q_2+r_3\sin q_3\right)r_3\cos q_3\dot{q}_1^2+m_{30}gr_3\sin q_3+k_3\left(\dot{q}_3-\dot{q}_2\right)=Q_3\end{cases}$$

Пусть выбрано программное движение $q_1=q_{10}(t),\ q_2=q_{20}(t),\ q_3=q_{30}(t)$ в виде

$$q_{10}(t)=0.2t \text{ рад},\ q_{20}(t)=1,5+0.5\sin t \text{ рад},\ q_{30}(t)=0.5\sin 0.5t \text{ рад}.$$

Переменные q_1, q_2, q_3, описывающие движение системы, являются периодическими $\left(\mathrm{mod}\,2\pi\right)$. Поэтому в качестве нелинейных функций, определяющих структуру обратной связи, удобно выбрать функции

$$f_1\left(q_1\right)=\sin q_1,\ f_2\left(q_2\right)=\sin q_2,\ f_3\left(q_3\right)=\sin q_3.$$

Введем нелинейное управление вида

$$Q=B\Delta\left(\dot{q}+f\left(t,q\right)\right), \tag{19}$$

Численно-аналитическое решение согласно описанному алгоритму определило закон управления в виде релейного управления

$$\begin{cases}Q_1=\nu_1 sign\left(\sin\left(q_1-q_{10}(t)\right)+\alpha\left(\dot{q}_1-\dot{q}_{10}(t)\right)\right),\\ Q_2=\nu_2 sign\left(\sin\left(q_2-q_{20}(t)\right)+\alpha\left(\dot{q}_2-\dot{q}_{20}(t)\right)\right)+\nu_3 sign\left(q_3-q_{30}(t)+\alpha\left(\dot{q}_3-\dot{q}_{30}(t)\right)\right),\\ Q_3=\nu_3 sign\left(\sin\left(q_2-q_{20}(t)\right)+\alpha\left(\dot{q}_2-\dot{q}_{20}(t)\right)\right)+\nu_4 sign\left(q_3-q_{30}(t)+\alpha\left(\dot{q}_3-\dot{q}_{30}(t)\right)\right),\end{cases}$$

где $\nu_i=const,\ \alpha=const.$

Ниже представлены результаты численного моделирования при следующих значениях параметров системы и программной траектории

$$J_{01}=0.1 \text{ кг}\times\text{м}^2,\ m_2=15 \text{ кг},\ m_3=2.5 \text{ кг},\ m_0=2 \text{ кг},$$
$$l_2=1 \text{ м},\ r_2=r_3=0.5 \text{ м},\ k_1=k_2=k_3=0.12 \text{ Н}\times\text{с}\times\text{м}.$$

Найдены следующие параметры управления $\nu_1=\nu_2=\nu_4=-50,\ \nu_3=10,\ \alpha=1$. На рисунке 2 представлены результаты моделирования при найденном управлении.

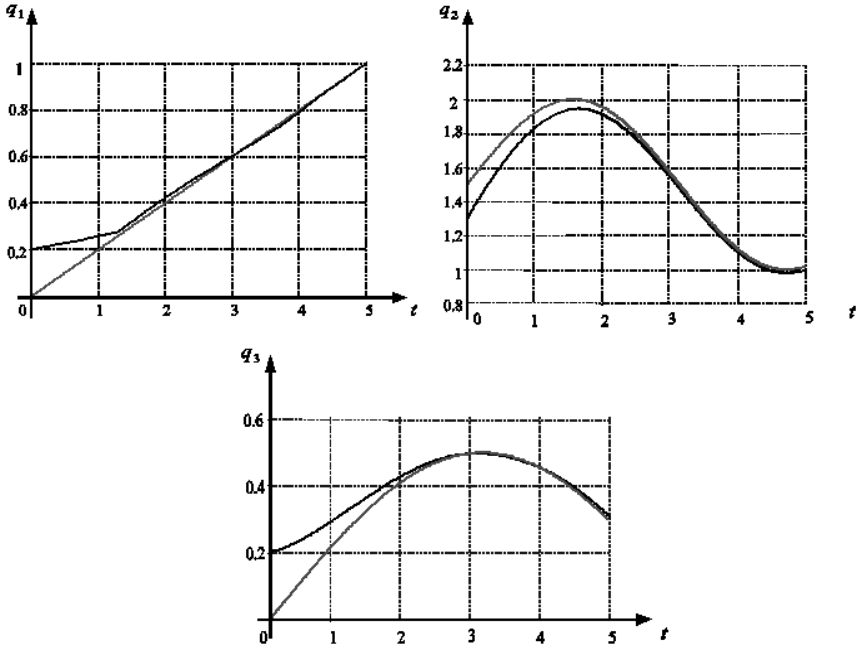


Рис. 2 – Зависимость координат манипулятора от времени при релейном управлении

Для задачи стабилизации программного движения $q_{10} = 0.2t$ рад, $q_{20} = \frac{\pi}{2}$, $q_{30} = \frac{\pi}{4}$ манипулятора найдено непрерывное управление вида

$$\begin{cases} Q_1 = \nu_{11}\left(\sin\left(q_1 - q_{10}(t)\right) + \alpha\left(\dot{q}_1 - \dot{q}_{10}(t)\right)\right) + k_1\dot{q}_1, \\ Q_2 = \nu_{22}\left(\sin\left(q_2 - q_{20}\right) + \alpha\dot{q}_2\right) + \nu_{23}\left(\sin\left(q_3 - q_{30}\right) + \alpha\dot{q}_3\right) + \\ \qquad + \left(m_2 r_2^2 + m_{30} l_2\right) g \sin q_2, \\ Q_3 = \nu_{32}\left(\sin\left(q_2 - q_{20}\right) + \alpha\dot{q}_2\right) + \nu_{33}\left(\sin\left(q_3 - q_{30}\right) + \alpha\dot{q}_3\right) + \\ \qquad + m_{30}\left(l_2 \sin q_2 + r_3 \sin q_3\right) r_3 \cos q_3 \dot{q}_1^2 + m_{30} g r_3 \sin q_3 \end{cases}$$

где $\nu_{ij} = const$, $\alpha = const$.

На рисунке 3 представлены результаты моделирования при найденном управлении.

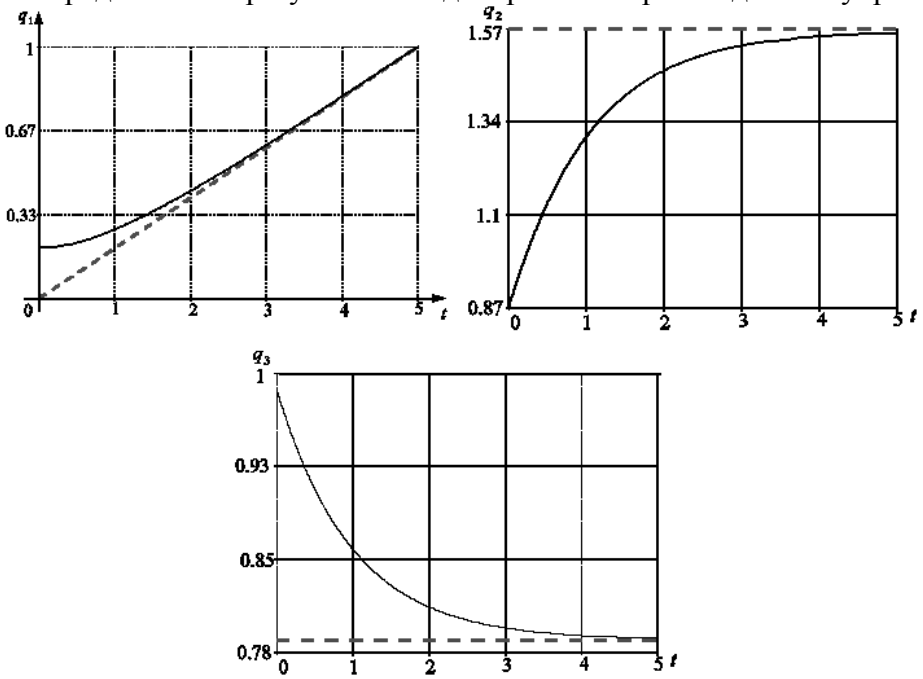


Рис. 3 – Зависимость координат манипулятора от времени при непрерывном управлении

Преимущество релейного управления состоит в сходимости к заданному движению за меньший промежуток времени, недостаток — в возникновении эффекта чаттера (биения).

Список литературы

1. *Андреев А.С., Бойкова Т.А.* Об устойчивости неустановившегося движения механической системы // ПММ, 2004 – Т.68, вып. 4. – С. 678-686.
2. *Андреев А.С., Дмитриева О.Г, Петровичева Ю.В.* Об устойчивости нулевого решения системы с разрывной правой частью // Научно-технический вестник Поволжья, 2011. – № 1. – С. 15-21.
3. *Дмитриева О.Г., Шепелев Г.А.* О методах стабилизации движений управляемых механических систем // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского, 2011. – № 4. Часть 2. – С. 122-123.
4. *Маркеев А.П.* Теоретическая механика – М.: ЧеРо, 1999. – 569 с.

05.07.05

[1]И.А. Арбузов, [2]А.А. Ташкинов, [1]А.П. Бибичев, [1]С.В. Старков, [1]Д.В. Щенятский, [2]Д.В. Зимин, [2]В.Я. Модорский

[1]ОАО «Протон-ПМ»

[2]ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ[1]

Введение

Существует проблема обеспечения работоспособности стенда в условиях низких температур и повышенной влажности окружающей среды.

Объектом исследования является газодинамический тракт стенда для газоперекачки. Газогидродинамический тракт рассматривается в двух исполнениях: с горизонтальным входом в авиационный двигатель и с вертикальным входом.

Целью исследования является разработка методики численного прогнозирования обледенения воздуховодов переменного сечения.

Исследовано влияние газодинамики потока во всасывающем трубопроводе на формирование неравномерного поля влажности. Вычислительные эксперименты проведены с использованием лицензионного пакета *ANSYS CFX*.

В результате выявлены области обледенения и сформулированы условия для безопасной, с точки зрения образования льда, эксплуатации. Показано, что важным является учет динамики изменения влажности и температуры окружающей среды.

Численному моделированию потоков в конструкции газоходов переменного сечения посвящен целый ряд работ [1-7]. Вместе с тем, работ, касающихся разработки методик численного прогнозирования обледенения воздуховодов переменного сечения явно недостаточно.

Постановка задачи

Необходимо исследовать поведение потоков воздуха в тракте газохода и определить распределения температур и относительной влажности по всему тракту.

Необходимо определить зоны, опасные с точки зрения образования льда.

Необходимо предложить меры по исключению обледенения конструкции.

Необходимо разработать методику численного прогнозирования обледенения газоходов переменного сечения

Физическая модель

Исходя из поставленной задачи были построены необходимые твердотельные модели и сформулирована физическая модель для исследования льдообразования. Для проведения численных экспериментов использовалась модель конструкции газохода, вписанная в расчетную область. Физическая модель задачи приводится в [9].

Математическая модель

Для проведения численных расчетов была сформулирована математическая модель, базирующаяся на законах сохранения массы, импульса, энергии и замыкаемая уравнениями состояния идеального газа и турбулентности, а также начальными и граничными условиями.

Полученные результаты

В результате проведения численного эксперимента получены распределения температуры капель воды, воздухи и распределение относительной влажности во внутренней части конструкции газохода. Образование льда можно определить из анализа полей температур

[1] Работа выполнена в рамках сотрудничества с ОАО "Протон-ПМ" по постановлению 218.

воды и воздуха и в случае их малого отклонении от температуры окружающей среды воспользоваться формулой 1.

$$Тн.л. = -8(T-Td) \geq T \quad (1)$$

где Тн.л.-температура насыщения надо льдом, (T-Td)-дефицит точки росы, Т-фактическая температура среды [8].

Разность (T-Td) берется из психрометрической таблицы, либо с использованием специальной программы, в зависимости от начальных значений Т и φ окружающей среды.

Для построения полей относительной влажности полученных результатов, использовались формулы 2 и 3 и дополнялись данными из психрометрических таблиц.

$$T_p = \frac{b\left(\frac{aT}{b+T} + \ln RH\right)}{a - \left(\frac{aT}{b+T} + \ln RH\right)} \quad (2)$$

$$\varphi_i = \varphi_w \left(p_{sw} / p_{si}\right) \quad (3)$$

где T_p – точка росы, a и b- параметры;

φ_i – относительная влажность, φ_w – абсолютная влажность, p_{sw} и p_{si} – давление водяного пара и давление насыщения соответственно.

На рисунке 1 приведена диаграмма обледенения. По данной диаграмме можно определить начало выпадения капель воды из потока - синяя граница, начало выпадения частиц льда из потока- красная граница. На диаграмме обозначены смещения линии начала выпадения льда при подводе тепла различной мощности.

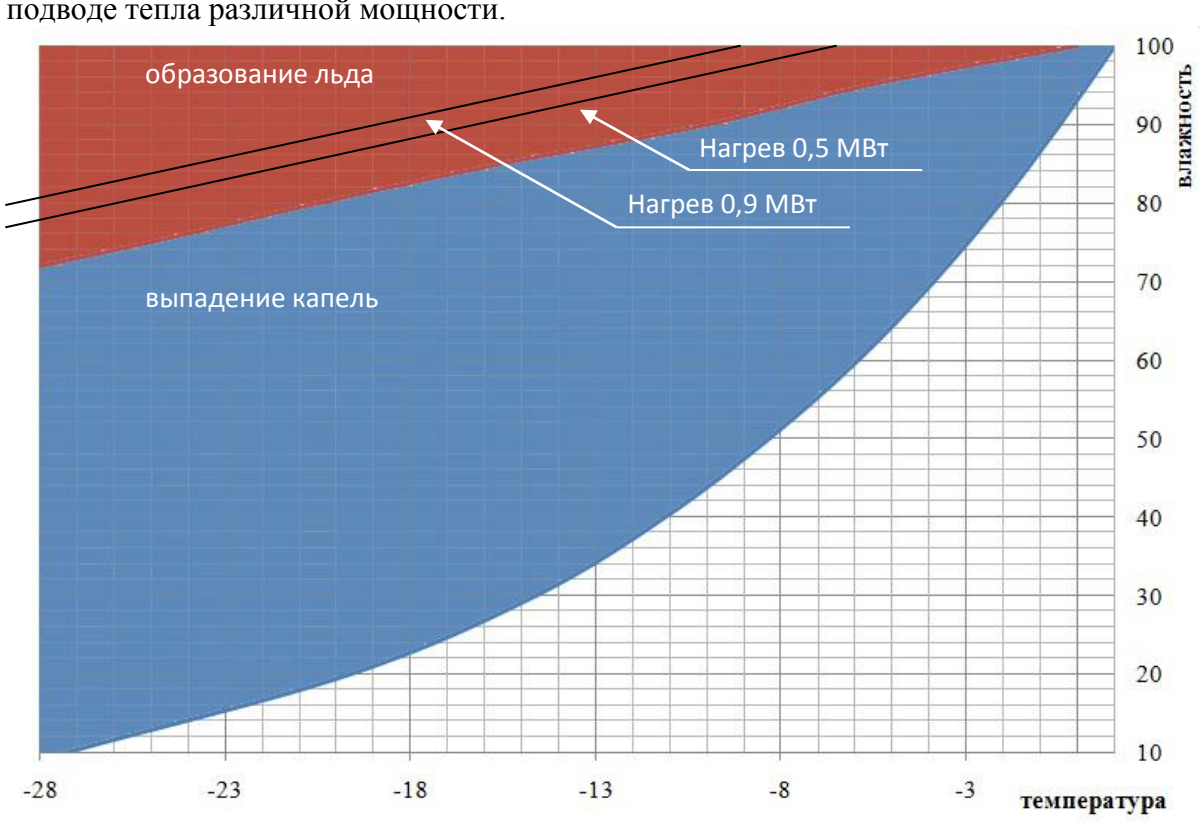


Рисунок 1 – Диаграмма обледенения

На базе проведенных вычислительных экспериментов, с учетом анализа полученных результатов разработана методика численного прогнозирования обледенения воздуховодов переменного сечения.

Методика проведения вычислительного эксперимента

1. Исходное состояние: равномерные поля с заданной температурой и относительной

влажностью.

2. Проведение расчета при всасе влажного воздуха в лемнискату. Формирование полей температуры и влажности.

3. Для определения зон, опасных с точки зрения выпадения влаги в потоке, проводилось формирование поля относительной влажности (рис. 2).

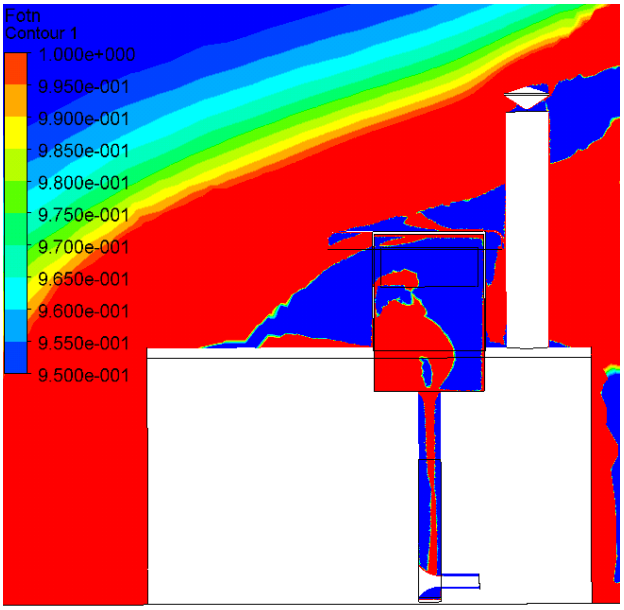
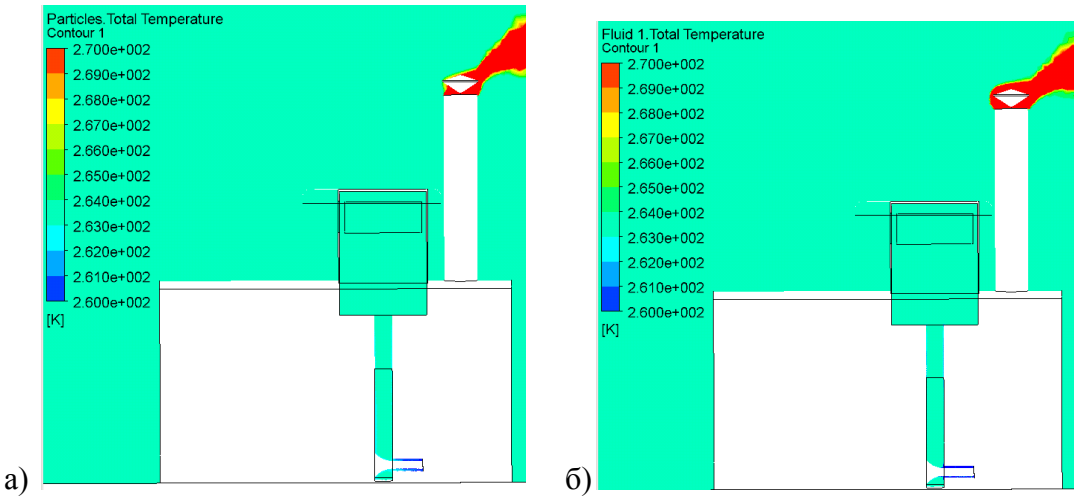


Рисунок 2 – Поле относительной влажности

4. В поле относительной влажности отбирались зоны со значением равным единице (то есть 100%).

5. Для определения зоны обледенения проверялась однородность полей температур частиц воды и воздуха на установившемся режиме (рис. 3).



а) б)

Рисунок 3 – Распределение температур
а – в частицах воды; б – воздухе

Далее температура льдообразования определялась по формуле (1).

Выводы

По результатам вычислительных экспериментов и аналитических расчетов построена диаграмма обледенения (рис.1). При построении диаграммы не учитывались выпадение атмосферных осадков (дождь, снег), начальный снежный покров, существующие отложения льда на стенках стенда. Принималось что температура пристеночного слоя потока будет мало отличаться от температуры стенок.

На диаграмме обледенения можно выделить две области. Светлая область соответствует отсутствию льдообразования и выпадения капель. Синяя область- область конденсации капель воды из потока. Красная область - область образования льда на поверхностях конструкции.

Список литературы

1. *В.Ю. Петров, В.Я. Модорский* «Аэроупругое деформирование конструкции РДТТ при наддуве», Изв. вузов. Авиационная техника, №3, 2011, Казань, с. 28-30
2. *А.В. Козлова, А.Н. Поник, В.Я. Модорский* «Моделирование процессов охлаждения в канале переменного сечения газохода», Изв. вузов. Авиационная техника, № 4, 2011, Казань, с. 23-26
3. *Р.В. Бульбович, Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, П.В. Писарев, В.Я. Модорский* «Численное моделирование напряженно-деформированного состояния активной заглушки резонатора», Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.95-100
4. *Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, П.В. Писарев, Ю.В. Соколкин, В.Я. Модорский* «Численное моделирование деформированного состояния крупногабаритной конструкции из композиционного материала», Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.116-120
5. *Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, В.Ю. Петров, П.В. Писарев, В.Я. Модорский* «Разработка экспериментального комплекса для анализа резонансных процессов в энергетических установках», Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.111-115
6. *А.В. Козлова, В.Ю. Петров, А.Н. Поник, В.Я. Модорский* «Инженерная методика определения настроек газохода переменного сечения для отвода и охлаждения горячих газов энергетических установок», Научно-технический вестник Поволжья №2, 2012, Казань, с. 216-219
7. *И.А. Арбузов, Р.В. Бульбович, Б.Е. Кириевский, П.В. Писарев, А.А. Ташкинов, Д.В. Щенятский, В.Я. Модорский* «Численное моделирование колебательных процессов в центробежном насосе», Научно-технический вестник Поволжья №3, 2012, Казань, с.44-49
8. Метеоагентство Росгидромета, «Расследование авиационных происшествий и инцидентов, связанных с метеорологическими факторами.» М. АНО "Метеоагентство Росгидромета", 2009
9. *Арбузов И.А., Ташкинов А.А., Бибичев А.П., Старков С.В., Щенятский Д.В., Зимин Д.В., Модорский В.Я.* «Численное моделирование обледенения газоходов переменного сечения», Научно-технический вестник Поволжья №6, 2012, Казань, с.96-99

05.07.05

[1]И.А. Арбузов, [2]А.А. Ташкинов, [1]А.П. Бибичев, [1]С.В. Старков, [1]Д.В. Щенятский, [2]Д.В. Зимин, [2]В.Я. Модорский

[1]ОАО «Протон-ПМ»

[2]ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОХОДОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ[1]

Введение

При проектировании крупногабаритных газоходов необходимо учитывать не только газодинамику процессов внутри конструкции [1-7], но и напряженно-деформированное состояние конструкции.

В данном исследовании проводилась оценка напряженно-деформированного состояния крупногабаритного газохода переменного сечения.

Постановка задачи

Необходимо провести оценку напряженно-деформированного состояния газохода переменного сечения.

Необходимо оценить влияние геометрических характеристик конструкции для выбора предпочтительного варианта.

Физическая модель

Исходя из поставленной задачи была сформулирована физическая модель. При численном анализе использовалась твердотельная модель, учитывающая характерные геометрические особенности конструкции.

При формировании физической модели учитывались:

- геометрические особенности конструкции газохода
- упругие свойства, использованного материала
-воздействие силы тяжести на конструкцию

Математическая модель

В соответствии с разработанной физической моделью была сформулирована математическая модель:

Для построения геометрических соотношений примем кинематическую модель Тимошенко С.П.[8]

Смещения произвольной точки оболочки определяются в виде:

$$\begin{gathered} U^z(\alpha,\beta,z) = U(\alpha,\beta) + z\gamma_1(\alpha,\beta) \\ V^z(\alpha,\beta,z) = V(\alpha,\beta) + z\gamma_2(\alpha,\beta) \\ W^z(\alpha,\beta,z) = W(\alpha,\beta) \end{gathered} \quad (1)$$

Эквидестантная поверхность, удаленная от координатной на расстояние z можно описать следующими соотношениями

$$\begin{gathered} R_1^z = R_1 + z = R_1\left(1 + \frac{z}{R_1}\right) \\ R_2^z = R_2 + z = R_2\left(1 + \frac{z}{R_2}\right) \end{gathered} \quad (2)$$

Параметры Ламе определяются следующим соотношением

$$\frac{H_\alpha\, d\alpha}{R_1} = \frac{H_\alpha^z d\alpha}{R_1 + z}$$

[1] Работа выполнена в рамках сотрудничества с ОАО "Протон-ПМ" по постановлению 218.

Следовательно,

$$H_\alpha^z = H_\alpha \left(1 + \frac{z}{R_1}\right) \tag{3}$$

Аналогично находится H_β^z.

Кинематические соотношения имеют вид:

$$e_\alpha = \frac{1}{H_\alpha}\frac{\partial U_\alpha}{\partial \alpha} + \frac{\partial H_\alpha}{\partial \beta}\frac{U_\beta}{H_\alpha H_\beta} + \frac{\partial H_\alpha}{\partial \gamma}\frac{U_\gamma}{H_\alpha H_\gamma},$$

$$e_{\alpha\beta} = \frac{H_\alpha}{H_\beta}\frac{\partial}{\partial \beta}\left(\frac{U_\alpha}{H_\alpha}\right) + \frac{H_\beta}{H_\alpha}\frac{\partial}{\partial \alpha}\left(\frac{U_\beta}{H_\beta}\right) \tag{4}$$

$$e_\alpha = \frac{1}{H_\alpha}\frac{\partial U^z}{\partial \alpha} + \frac{1}{H_\alpha H_\beta}\frac{\partial H_\alpha}{\partial \beta}V^z + \frac{W^z}{R_1}. \tag{5}$$

Аналогично получим

$$e_\beta = \frac{1}{H_\beta}\frac{\partial V^z}{\partial \beta} + \frac{1}{H_\alpha H_\beta}\frac{\partial H_\beta}{\partial \alpha}U^z + \frac{W^z}{R_2}. \tag{6}$$

$e_z = 0$, так как длина нормали постоянна.

Для сдвиговых деформаций:

$$e_{\alpha\beta} = \frac{H_\alpha}{H_\beta}\frac{\partial}{\partial \beta}\left(\frac{U^z}{H_\alpha}\right) + \frac{H_\beta}{H_\alpha}\frac{\partial}{\partial \alpha}\left(\frac{V^z}{H_\beta}\right) \tag{7}$$

$$e_{\alpha z} = H_\alpha \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{U^z}{H_\alpha}\right) + \frac{1}{H_\alpha}\frac{\partial W^z}{\partial \alpha} \tag{8}$$

$$e_{\beta z} = H_\beta \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{V^z}{H_\beta}\right) + \frac{1}{H_\beta}\frac{\partial W^z}{\partial \beta} \tag{9}$$

Подставляя выражения (5) – (9) в выражения кинематической модели Тимошенко С.П.

$$e_\alpha = \left(\frac{1}{H_\alpha}\frac{\partial U}{\partial \alpha} + \frac{1}{H_\alpha H_\beta}\frac{\partial H_\alpha}{\partial \beta}V + \frac{W}{R_1}\right) + z\left(\frac{1}{H_\alpha}\frac{\partial \gamma_1}{\partial \alpha} + \frac{1}{H_\alpha H_\beta}\frac{\partial H_\alpha}{\partial \beta}\gamma_2\right)$$

$$e_\alpha = \varepsilon_\alpha + z \cdot \chi_\alpha \tag{10}$$

$$e_{\alpha\beta} = \left(\frac{H_\alpha}{H_\beta}\frac{\partial}{\partial \beta}\left(\frac{U}{H_\alpha}\right) + \frac{H_\beta}{H_\alpha}\frac{\partial}{\partial \alpha}\left(\frac{V}{H_\beta}\right)\right) + z\left(\frac{H_\alpha}{H_\beta}\frac{\partial}{\partial \beta}\left(\frac{\gamma_1}{H_\alpha}\right) + \frac{H_\beta}{H_\alpha}\frac{\partial}{\partial \alpha}\left(\frac{\gamma_2}{H_\beta}\right)\right)$$

$$e_{\alpha\beta} = \varepsilon_{\alpha\beta} + 2z \cdot \chi_{\alpha\beta} \tag{11}$$

χ_i - приращение кривизны.

$$e_{\alpha z} = \gamma_1 + \frac{1}{H_\alpha}\frac{\partial V}{\partial \alpha} + \frac{z}{H_\alpha}\frac{\partial \gamma_1}{\partial \beta} \tag{12}$$

Аналогично получается выражения для $e_{\beta z}$.

$$e_z = 0.$$

Соотношения Гука будут иметь вид:

$$\sigma_\alpha = C_{11}e_\alpha + C_{12}e_\beta = C_{11}\left(\varepsilon_\alpha + z \cdot \chi_\alpha\right) + C_{12}\left(\varepsilon_\beta + z \cdot \chi_\beta\right) \tag{13}$$

$$\tau_{\alpha\beta} = C_{66}e_{\alpha\beta} = C_{66}\left(\varepsilon_{\alpha\beta} + 2z \cdot \chi_{\alpha\beta}\right) \tag{14}$$

$$\tau_{oz} = C_{55}e_{oz} \tag{15}$$

$$\tau_{\beta z} = C_{44}e_{\beta z} \tag{16}$$

$$\sigma_z = 0 \tag{17}$$

Полученные результаты

При проведении численных экспериментов варьировалась толщина стенки конструкции изменялись от 10 до 30мм. На рисунке 1 приведены распределения полей напряжений при толщине стенки 10мм. На рисунке 2 приведены распределения полей перемещений. Как видно из распределения напряжения концентрируются в местах крепления дополнительного

элемента на трубу газохода. Максимальные перемещений находятся в центре крыши и много меньше допустимых.

Расчеты показали, что конструкция обладает необходимым запасом прочности даже при наименьшей толщине стенки. При учете температурного нагружающего фактора показано, что необходимо использовать стенку толщиной 30мм для обеспечения работоспособности конструкции при повышенных температурах и обеспечения необходимой долговечности работы конструкции.

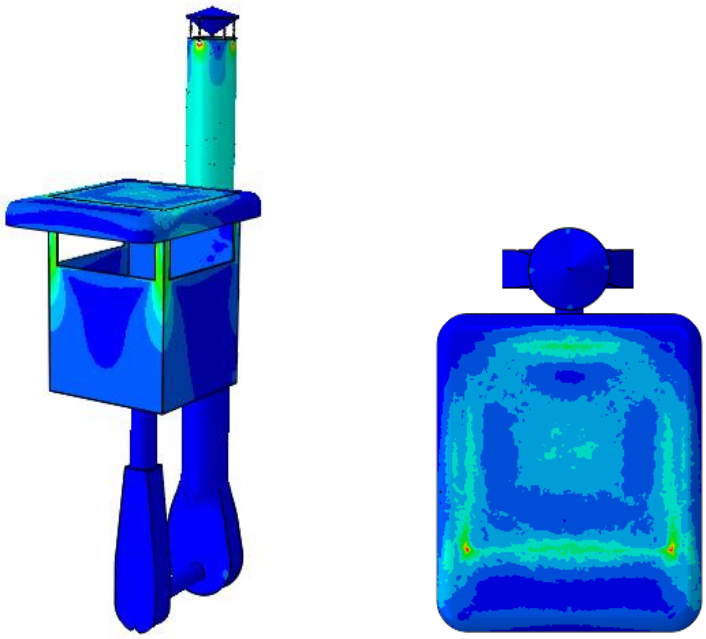


Рисунок 1- Распределение полей напряжений

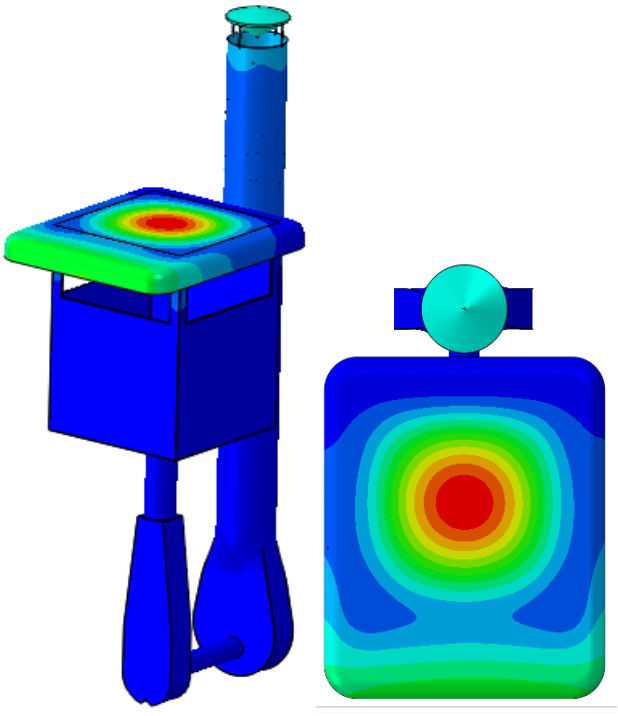


Рисунок 2- Распределение полей перемещений

Выводы

Проведен численный анализ напряженно-деформированного состояния крупногабаритного газохода переменного сечения.

Численное моделирование позволило выбрать геометрические характеристики конструкции, с учетом возникающих механических и температурных нагрузок.

Список литературы

1. *В.Ю. Петров, В.Я. Модорский* «Аэроупругое деформирование конструкции РДТТ при наддуве», Изв. вузов. Авиационная техника, №3, 2011, Казань, с. 28-30
2. *А.В. Козлова, А.Н. Поник, В.Я. Модорский* «Моделирование процессов охлаждения в канале переменного сечения газохода», Изв. вузов. Авиационная техника, № 4, 2011, Казань, с. 23-26
3. *Р.В. Бульбович, Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, П.В. Писарев, В.Я. Модорский* «Численное моделирование напряженно-деформированного состояния активной заглушки резонатора», Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.95-100
4. *Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, П.В. Писарев, Ю.В. Соколкин, В.Я. Модорский* «Численное моделирование деформированного состояния крупногабаритной конструкции из композиционного материала», Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.116-120
5. *Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, В.Ю. Петров, П.В. Писарев, В.Я. Модорский* «Разработка экспериментального комплекса для анализа резонансных процессов в энергетических установках», Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.111-115
6. *А.В. Козлова, В.Ю. Петров, А.Н. Поник, В.Я. Модорский* «Инженерная методика определения настроек газохода переменного сечения для отвода и охлаждения горячих газов энергетических установок», Научно-технический вестник Поволжья №2, 2012, Казань, с. 216-219
7. *И.А. Арбузов, Р.В. Бульбович, Б.Е. Кириевский, П.В. Писарев, А.А. Ташкинов, Д.В. Щенятский, В.Я. Модорский* «Численное моделирование колебательных процессов в центробежном насосе», Научно-технический вестник Поволжья №3, 2012, Казань, с.44-49
8. *А.А. Чекалкин, А.А. Паньков* Лекции по механике конструкций из композиционных материалов – Пермь: ПГТУ, 1999.-150с.

05.07.05

[1]И.А. Арбузов, [2]А.А. Ташкинов, [1]А.П. Бибичев, [1]С.В. Старков, [1]Д.В. Щенятский, [2]Д.В. Зимин, [2]В.Я. Модорский

[1]ОАО «Протон-ПМ»

[2]ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ГАЗОХОДОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ[1]

Введение

Проблема эксплуатации крупногабаритного газохода в зимнее время года связана с возможностью обледенения некоторых элементов. При возникновении перепада температур и влажности воздуха, а также при переходе температур через 0 ^{o}C возможно возникновение условий, благоприятных для выпадения капель воды из воздуха.

Перепады температур и влажности могут наблюдаться во время прохождения атмосферных фронтов, ширина которых может составлять от километров до десятков и сотен километров, а скорость движения фронта достигать 50 км/ч. Любые осадки могут являться центрами кристаллизации и представляют опасность с точки зрения обледенения. Условия для образования льда могут реализовываться не только вблизи наземных конструкций, но и на высотах, в том числе значительных, с последующем выпадением на наземные конструкции.

Образование льда недопустимо, так как может повлиять на работоспособность конструкции в целом.

В данном исследовании приводятся численные эксперименты по моделированию процесса обледенения в крупногабаритных газоходах переменного сечения.

На сегодняшний день известен ряд работ, посвященных численному моделированию потоков в конструкции газоходов переменного сечения [1-5].

Система допущений

Для формирования расчетного алгоритма, позволяющего прогнозировать процессы обледенения была сформулирована следующая физическая модель с системой допущений.

- Несомая фаза представлена монодисперсными каплями воды (частицы).
- Влажность моделируется при помощи частиц воды с диаметром 0,002мм.
- Теплоперенос внутри капель воды происходит бесконечно быстро, ввиду малости их геометрических размеров.
- До достижения температуры замерзания испарение происходит в конвективном режиме.
- Не учитываются процессы дробления и коагуляции капель, так как принимается одновременность, равенство и взаимно противоположная направленность скоростей их протекания.
- Не учитывается осаждение капель воды на стенку.
- Не учитываются процессы химического взаимодействия.
- Смесь воздуха и воды принимается неравновесной по скорости и температуре.
- Поток рассматривается многофазным: несущая фаза – вязкий несжимаемый газ, несомая фаза – несжимаемая жидкость.
- Учитываются процессы нагревания и испарения капель воды.
- Учитывается динамика движения капель воды.

[1] Работа выполнена в рамках сотрудничества с ОАО "Протон-ПМ" по постановлению 218.

• Учитывается взаимное влияние фаз: несущая фаза определяет траектории частиц, частицы в свою очередь оказывают влияние на течение несущей фазы через источниковые члены.

• Скорость течения определяется массовым секундным расходом.

• Для получения необходимой исходной влажности задаются соответствующие начальные условия.

• Стенки канала непроницаемые, нетеплопроводные (продолжительность работы газохода в вычислительном эксперименте намного меньше, чем время прогрева стенки) и нешероховатые (принимается, что все выступы элементов шероховатости лежат внутри вязкого слоя).

• Процессы рассматриваются в трехмерной динамической постановке.

• Исследуется течение во внутренней области конструкции.

• Исследуемая конструкция вписана во внешний объем, который моделирует окружающее пространство.

• Направление ветра задается в направлении от всаса к выхлопной трубе.

• Принята стандартная k-ε модель турбулентности.

Математическая модель

В соответствии с принятой физической моделью разработана математическая модель, которая базируется на законах сохранения массы, импульса, энергии и замыкается уравнениями состояния идеального газа и турбулентности, а также начальными и граничными условиями.

Для проведения численных экспериментов была построена твердотельная модель конструкции, вписанная в расчетную область, имитирующую окружающую среду (рис.1).

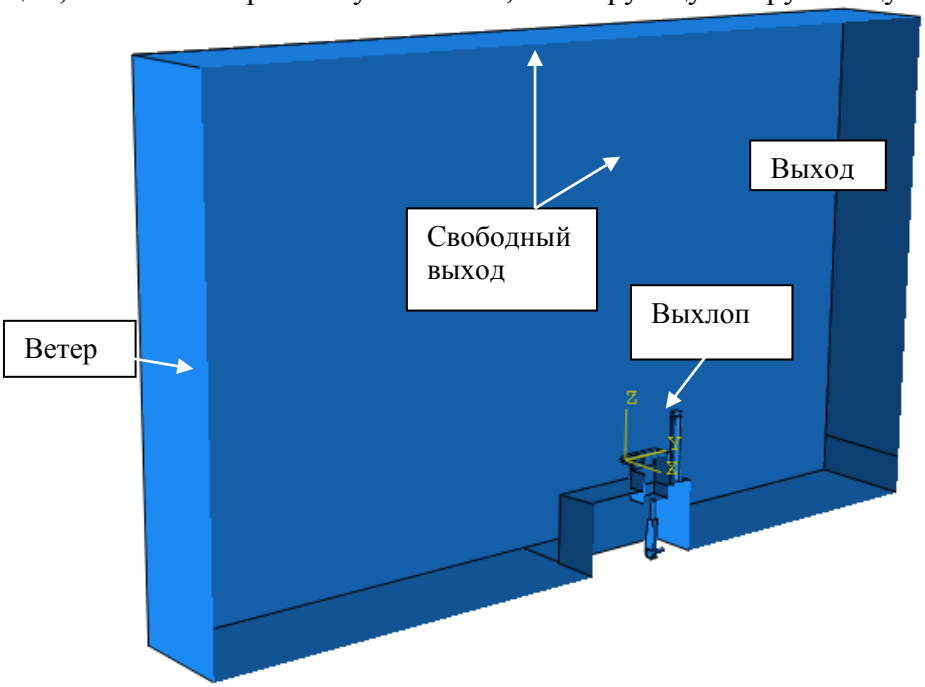


Рисунок 1- Твердотельная модель газохода

Результаты численных экспериментов

При проведении вычислительных экспериментов согласно плана были получены распределения параметров, необходимых и достаточных для построения зон, опасных с точки зрения обледенения.

На рисунке 2 приведено распределение температуры частиц воды. Видно, что значения температуры внутри газохода мало отличаются от начальной.

На рисунке 3 приведено распределение температуры воздуха. Для всех расчетных вариантов не наблюдается понижение температуры воздуха во внутренних элементах конструкции.

На рисунке 4 приведено распределение относительной влажности. Каждый расчетный вариант показывает распределение переменной, характерной для выбранной влажности в полном диапазоне температур.

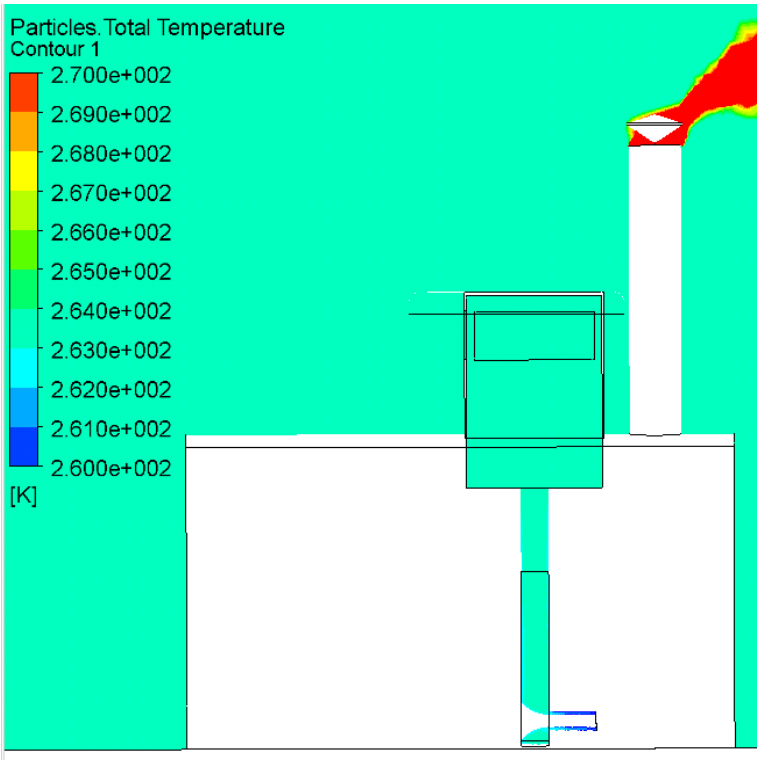


Рисунок 2 – Температура частиц воды

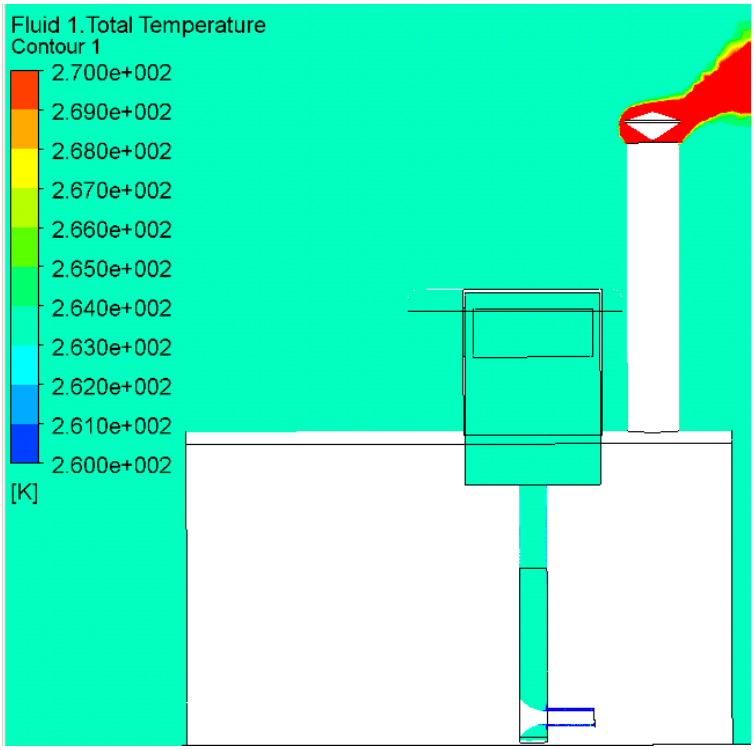


Рисунок 3 – Температура частиц воздуха

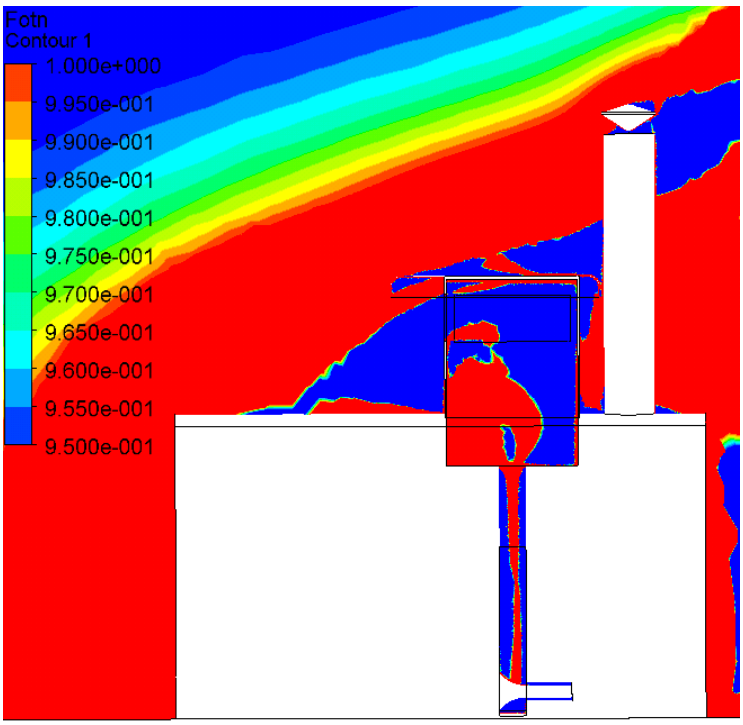


Рисунок 4 – Относительная влажность

Выводы

Сформулирована физическая модель для описания процесса обледенения конструкции габаритного газохода.

Сформулирована математическая модель процесса.

Получены распределения переменных, для различных начальных условий, по которым можно проводить анализ возможности обледенения.

Список литературы

1. *Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, П.В. Писарев, Ю.В. Соколкин, В.Я. Модорский* «Численное моделирование деформированного состояния крупногабаритной конструкции из композиционного материала», Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.116-120

2. *Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, В.Ю. Петров, П.В. Писарев, В.Я. Модорский* «Разработка экспериментального комплекса для анализа резонансных процессов в энергетических установках», Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.111-115

3. *А.В. Козлова, В.Ю. Петров, А.Н. Поник, В.Я. Модорский* «Инженерная методика определения настроек газохода переменного сечения для отвода и охлаждения горячих газов энергетических установок», Научно-технический вестник Поволжья №2, 2012, Казань, с. 216-219

4. *И.А. Арбузов, Р.В. Бульбович, Б.Е. Кириевский, П.В. Писарев, А.А. Ташкинов, Д.В. Щенятский, В.Я. Модорский* «Численное моделирование колебательных процессов в центробежном насосе», Научно-технический вестник Поволжья №3, 2012, Казань, с.44-49

5. *В.Я. Модорский, П.В. Писарев, Д.В. Зимин, А.А. Писарева, Д.Ф. Гайнудинова* «Численное моделирование аэроупругих процессов в тонкостенных сооружениях с использованием суперкомпьютера ПНИПУ», Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений, 2012, Новороссийск, с.532-535

05.07.05

[1]И.А. Арбузов, [2]А.А. Ташкинов, [1]Д.В. Щенятский, [1]Б.Е. Кириевский, [2]Р.В. Бульбович, [2]В.Я. Модорский, [2]П.В. Писарев

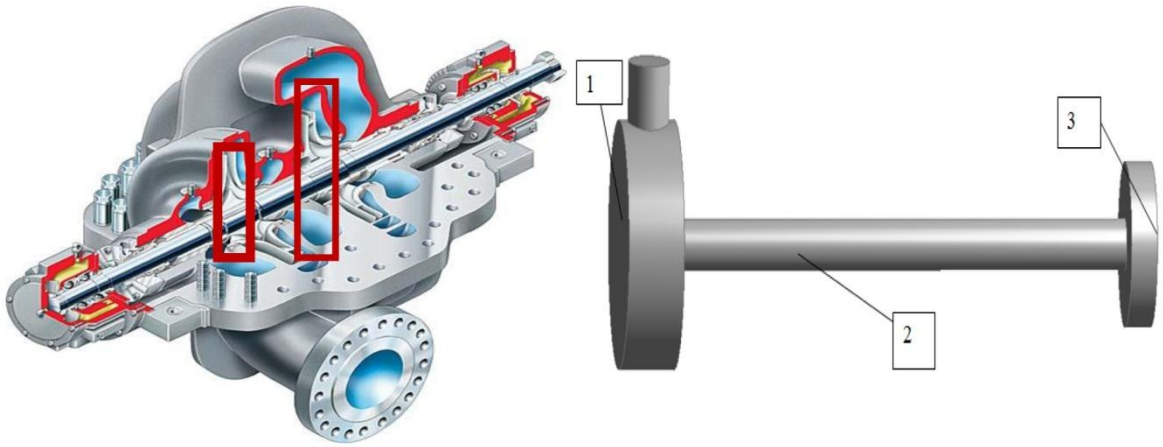
[1] ОАО «Протон-ПМ»

[2] ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В СОЕДИНИТЕЛЬНОМ КАНАЛЕ МОДЕЛЬНОГО НАСОСА[1]

В настоящее время повышение эффективности работы центробежных насосов системы питания жидкостных ракетных двигателей, является актуальной задачей. Из-за конечного числа лопаток в двухступенчатых насосах возникают пульсации давления, на интенсивность которых влияет множество факторов. Экспериментальные исследования затруднены, в связи с высокой стоимостью и опасностью ослабления конструкции при ее доработке для установки датчиков. Возникает необходимость в разработке новых подходов исследования, колебательных процессов, с применением специальных модельных задач. В данной работе приводятся результаты численных экспериментов по моделированию колебательных процессов, с использованием трехмерной гидродинамической модели, учитывающей характерные особенности колебательной системы "свободный объем насоса первой ступени - соединительный канал - свободный объем насоса второй ступени". Моделируется неравномерность потока на входе и выходе из соединительного канала, возможность реализации различных вариантов конструкции, волновые процессы в гидродинамическом объеме, скорость вращения и т.д.

Для решения модельной задачи геометрия исходной расчетной области (рисунок 1а) была сведена к трем объемам (рисунок 1б). 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.



а б

Рисунок 1 (а, б) – Формирование твердотельной модели
(а-исходная конструкция, б-модельная)

Свободный объем первой ступени имеет один вход и два выхода. Первый выход – в соединительный канал и по рисунку 1б направлен вправо. Второй выход имеет большее сечение и по рисунку 1б направлен вверх. Этот выход имеет также круговое сечение.

[1] Работа выполнена в рамках сотрудничества с ОАО "Протон-ПМ" по постановлению 218.

Свободный объем второй ступени имеет один вход (по рисунку 1б-слева) и один выход (по рисунку 1б-справа) с круговыми поперечными сечениями.

Анализ исходной конструкции показал, что возможна реализация различных процессов в соединительном канале, так как подача жидкости из свободного объема насоса первой ступени в соединительный канал и втягивание жидкости в свободный объем насоса второй ступени могут быть несинхронизированы. Для решения задач по расчету гидродинамических характеристик в соединительном канале с прилегающими свободными объемами была сформирована физическая модель с учетом следующих допущений:

1. Процессы рассматриваются в трехмерной динамической постановке.
2. Поток жидкости рассматривается однофазным.
3. Рабочее вещество представляет собой вязкую сжимаемую жидкость.
4. Принята стандартная к-ε модель турбулентности.
5. Стенки конструкции непроницаемые.
6. Стенки конструкции не поглощают и не выделяют тепло (продолжительность работы насоса в вычислительном эксперименте намного меньше, чем время прогрева стенки).
7. Сила трения между стенками и рабочей жидкостью не учитывается.
8. Стенки конструкции не деформируются.
9. Расчеты проводились без учета гравитации, так как предварительные вычислительные эксперименты показали, что влияние гравитации незначительно.
10. Подача жидкости в соединительный канал изменяется по синусоидальному закону.
11. Расход жидкости в выходном сечении изменяется по синусоидальному закону.

При описании граничных условий учитывалось, что вращательное движение лопаток первой и второй ступени с заданной частотой и с пульсирующей подачей жидкости в соединительный канал можно описать синусоидальной функцией.

Тогда граничное условие входа в первую ступень запишется в виде:

$$\upsilon_1(t) = \upsilon_{ном1} + \upsilon_{A1} * sin(\omega t + \varphi),$$

где $\upsilon_{ном1}$ –номинальная скорость подачи жидкости в первую ступень, υ_{A1} - амплитуда колебания скорости потока (для расчетов принимается равной 1 % от номинального значения скорости), ω – угловая частота вращения крыльчатки , t – время расчета, φ – угол сдвига фаз колебаний на входе и выходе из перепускного канала.

Граничное условие выхода из второй ступени насоса запишется в виде:

$$\upsilon_2(t) = \upsilon_{ном2} + \upsilon_{A2}\, sin\, \omega t,$$

где $\upsilon_{ном2}$ –номинальная скорость выхода жидкости из второй ступени насоса, υ_{A2} – амплитуда колебания скорости потока (для расчетов принимается как 1 % от номинального значения скорости). Выход, направленный по рисунку 1 б вверх рассматривается, как свободный выход.

Для удобства регистрации пульсаций давлений, в расчетную модель были помещены математические датчики. На рисунке 2 изображена схема расположения математических "датчиков давления". Все "датчики" располагаются на оси симметрии модели. Первый "датчик" располагается во входном сечении, второй – в центре полости улитки первой ступени, третий – на входе в соединительный канал, четвертый, пятый, шестой – в соединительном канале и делят его на четыре равных части, седьмой - на выходе из соединительного канала, восьмой – в центре полости улитки второй ступени, девятый – в выходном сечении объема модельной конструкции.

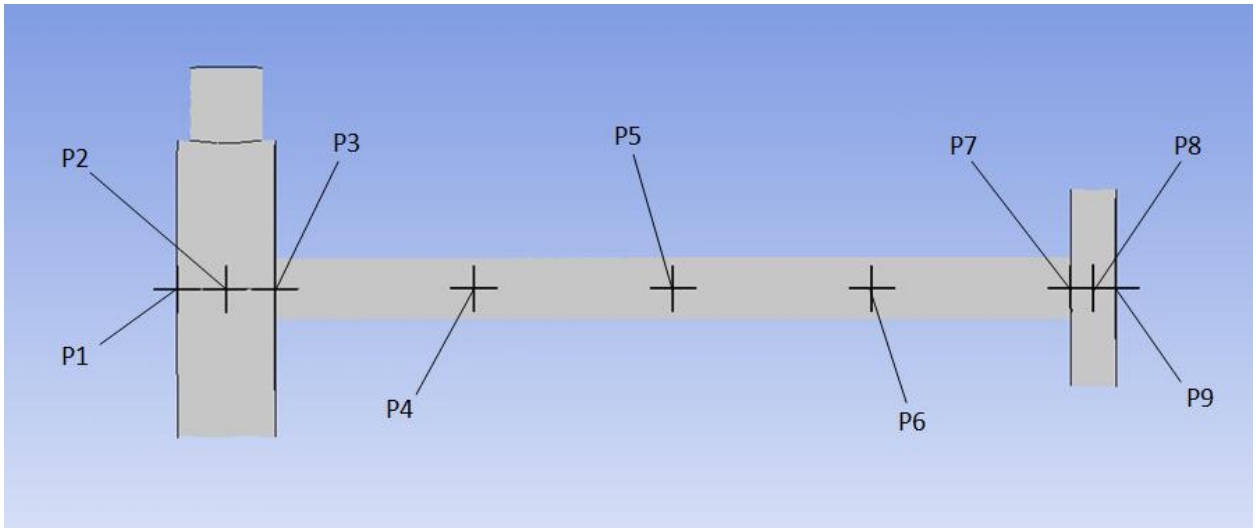


Рисунок 2 – Схема расположения датчиков давления.

Всего проведено 6 вычислительных экспериментов, в рамках которых проводилось варьирование угла сдвига фаз.

В результате расчетов были получены графики зависимости ΔP (размах колебаний давления) от Nтз (номера математических "датчиков") при различных φ (рисунок 4). Результаты расчетов при φ=0 и φ=2π совпадают.

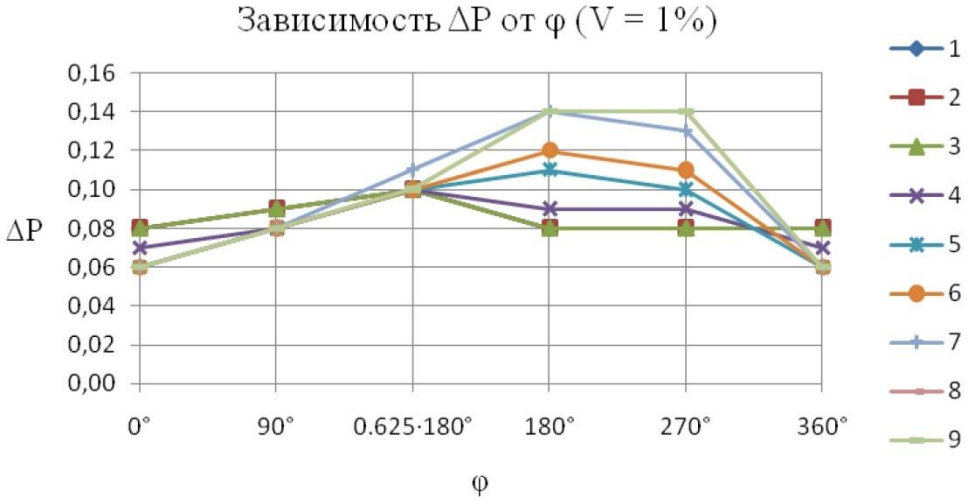


Рисунок 4 – График зависимости ΔP от φ в различных контрольных точках.

Из графика видно, что амплитуда колебаний давления усиливается в 1,5 раза при φ = 180°, φ = 270°. Амплитуда колебаний давления ослабляется в 1,4 раза при φ = 0°, φ = 360° и в 1,3 раза, при φ = 90°.

Таким образом, в ходе проведения численного исследования было обнаружено возникновение колебательных процессов в соединительном канале и присоединенных объемах улиток первой и второй ступеней. Амплитуда колебаний давления зависит от угла установки лопаток колес первой и второй ступеней друг относительно друга. Наименьшая амплитуда колебательного процесса характерна для φ = 0°.

Выводы:

1. В ходе вычислительных экспериментов обнаружено возникновение колебательных процессов в соединительном канале и присоединенных объемах улиток первой и второй ступеней.

2. Амплитуда и фаза колебаний зависят от взаимного расположения колес первой и второй ступеней друг относительно друга.

3. Предпочтительные углы взаимного расположения колес первой и второй ступеней друг относительно друга могут быть определены экспериментально, так как угол сдвига фаз колебаний определяется не только углом между кромками колес, но и расположением относительно колес и величиной выпускных окон улитки первой ступени соединительного канала.

Список литературы

1. *Модорский В.Я., Бульбович Р.В., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., П.В.Писарев.* Численное моделирование напряженно-деформированного состояния активной заглушки резонатора Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.95-100.
2. *Модорский В.Я., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., Писарев П.В., Соколкин Ю.В.* Численное моделирование деформированного состояния крупногабаритной конструкции из композиционного материала. Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.116-120.
3. *Модорский В.Я., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., Петров В.Ю., Писарев П.В.* Разработка экспериментального комплекса для анализа резонансных процессов в энергетических установках. Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.111-115.
4. *Модорский В.Я., Козлова А.В., Петров В.Ю., Поник А.Н.* Инженерная методика определения настроек газохода переменного сечения для отвода и охлаждения горячих газов энергетических установок. Научно-технический вестник Поволжья №2, 2012, Казань, с. 216-219.
5. *Модорский В.Я., Щенятский Д.В., Арбузов И.А., Бульбович Р.В., Кириевский Б.Е., Писарев П.В., А.А. Ташкинов.* Численное моделирование колебательных процессов в центробежном насосе. Научно-технический вестник Поволжья №3, 2012, Казань, с.44-49.

05.07.05

[1]И.А. Арбузов, [2]А.А. Ташкинов, [1]Д.В. Щенятский, [1]Б.Е. Кириевский, [2]Р.В. Бульбович, [2]В.Я. Модорский, [2]П.В. Писарев

[1] ОАО «Протон-ПМ»

[2] ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЕРВОЙ СТУПЕНИ МОДЕЛЬНОГО ДВУХСТУПЕНЧАТОГО НАСОСА[1]

Объектом исследований являются каналы наукоемких изделий первой ступени модельного двухступенчатого насоса. Цель исследования заключается в изучении влияния конструктивных и технологических параметров на характеристики потока жидкости в каналах. На первом этапе исследования по данному направлению произведены численные эксперименты по моделированию потока в соединительном канале с учетом прилегающих свободных объемов. Выявлены условия возникновения и усиления колебаний в модельных каналах.

В рамках данной работы производилось уточнение твердотельной модели и произведен учет особенностей поступления и отвода рабочего тела в полость первой ступени модельного двухступенчатого насоса. В данной работе учитывается работа крыльчатки первой ступени.

Для решения задач по расчету гидродинамических характеристик в свободном объеме первой ступени центробежного насоса, с учетом допущений была принята следующая расчетная модель:

- конструкция полагается трехмерной (x, y, z);
- расчет нестационарный;
- стенки конструкции не поглощают и не выделяют тепло;
- сила трения между стенками и рабочей жидкостью не учитывается;
- рабочее тело представляет собой вязкую сжимаемую жидкость(вода);
- стенки конструкции не деформируются;
- сила тяжести не учитывается;
- давление на входе подается через осевой двусторонний вход;
- реализуется Лагранжев подход, При этом кинетическая энергия вращения колеса передается жидкости и приводит ее в движение;
- колесо представляет собой вращающееся тело, состоящее из втулки и 12 одинаковых непрофилированных лопастей.

Для проведения вычислительного эксперимента была построена, геометрическая модель, которая состоит из свободного объема первой ступени (жидкостной регион) и крыльчатки (подвижное твердое тело).

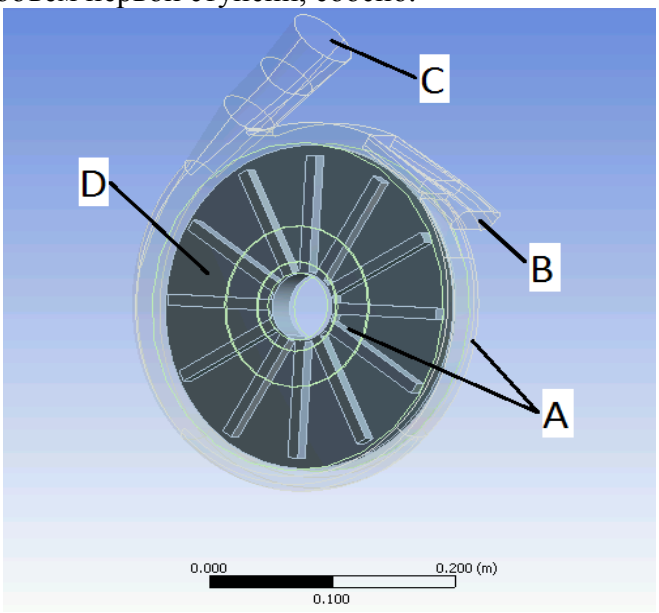
Свободный объем первой ступени имеет два входа и два выхода. На боковых поверхностях модели расположены элементы осевого двустороннего входа A (рисунок 1). Первый выход B – выход из соединительного канала (рисунок 1). Второй выход C имеет большее сечение (рисунок 1). Крыльчатка, представляет из себя твердое тело D (рисунок 1). Геометрическая модель построена с учетом тангенциального расположения выходов первой ступени. Учитывалось геометрическое расширение каналов.

Твердотельная модель для данной задачи была построена в инженерном пакете *Solid Works*, для проведения вычислительного эксперимента было необходимо построить геометрическую модель, состоящую из двух регионов:

1) Жидкостной регион, представляет собой свободный объем первой ступени.

[1] Работа выполнена в рамках сотрудничества с ОАО "Протон-ПМ" по постановлению 218.

2) Твердотельный регион, представляет собой крыльчатку первой ступени, крыльчатка помещена в свободный объем первой ступени, соосно.



–

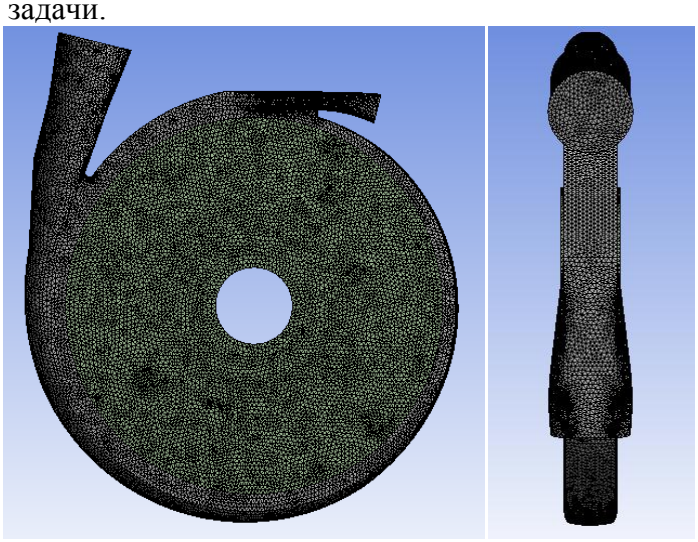
Рисунок 1 –Общий вид геометрической модели.

Для проведения численного эксперимента были заданы следующие граничные условия:

- движение крыльчатки задавалось через постоянную скорость вращения n= 8500 об/мин.
- для граничного условия входа в первую ступень задавалось постоянное давление 0,05, 0,3 и 0,5 МПа.
- для граничного условия выхода из первой ступени задавалось граничное условие «свободный выход».

Структура расчетной сетки следующая. Для лучшей сходимости решения и снижения погрешностей получаемых результатов необходимо применить сетку, ячейки которой имеют равномерную форму, близкую к форме тетраэдра.

Вместе с тем, при измельчении сетки желательно избегать резких отличий геометрических размеров соседних ячеек – линейные размеры не должны отличаться более, чем в 2 раза. На рисунке 2 представлена тетраэдральная расчетная сетка, примененная для решения поставленной задачи.



а б

Рисунок 2 – Расчетная сетка: а – вид спереди; б – вид справа

Расчетная сетка имеет равномерную структуру. Количество элементов расчетной сетки 3 млн. В области взаимодействия крыльчатки и жидкости была проведена адаптация расчетной сетки первого уровня.

В рамках вычислительных экспериментов исследовалось влияние давления на входе в первую ступень центробежного насоса, на колебательные процессы в соединительном канале. Давление на входе в первую ступень задавалось равным 0,05, 0,3 и 0,5 МПа.

На рисунке 4 изображена схема расположения математического «датчика давления». «Датчик» располагается в центре поперечного сечения.

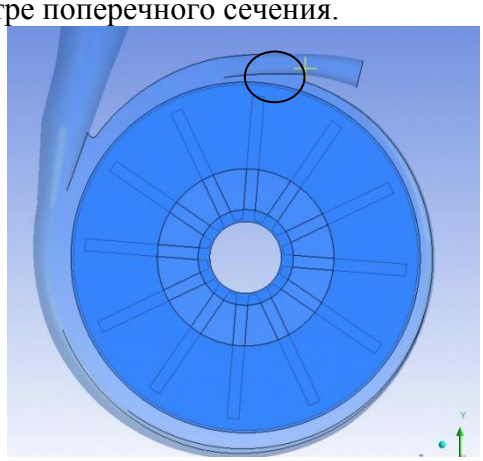
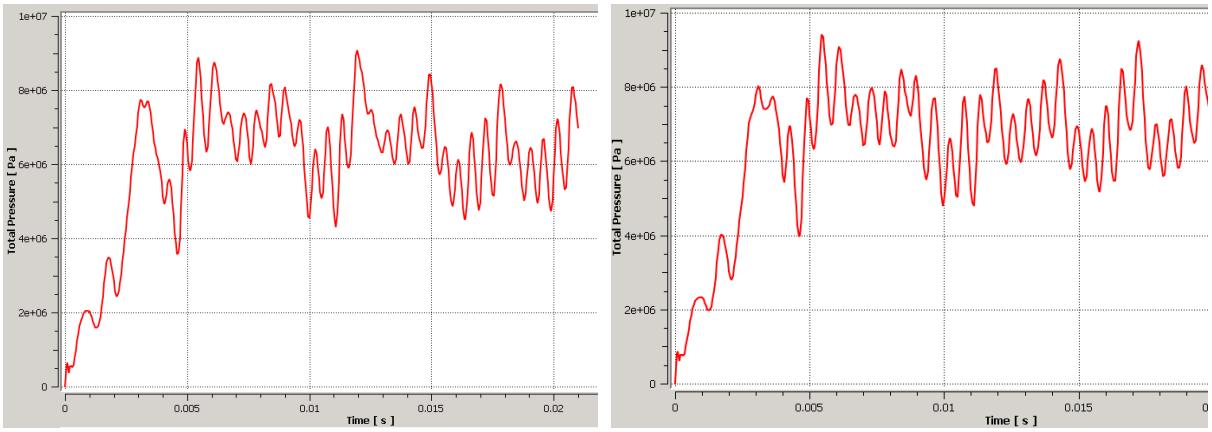


Рисунок 4 – Схема расположения «датчика» давления

Графики зависимости давления от времени в контрольной точке представлены на рисунке 5 (а, б).



а б

Рисунок 4. График зависимости полного давления от времени $P_{вх}$: а – $P_{вх}$= 0,05 МПа.; б – $P_{вх}$= 0,5 МПа.

Анализ полученных зависимостей показал, что в модельной конструкции обнаружены высокочастотные колебания (≈1700 Гц), модулированные низкочастотными колебаниями (≈ 222 – 333 Гц). По результатам вычислительных экспериментов выявлено, что с увеличением давления на входе частота модулирующего сигнала повышается ≈ 100 Гц.

Выводы:

1. Обнаружена модуляция высокочастотных колебаний давления в области входа в соединительный канал.
2. Модуляция обусловлена формированием пульсирующей области высокого давления в межлопаточном пространстве. Частота модуляции близка к частоте вращения крыльчатки.
3. Обнаружена прямая зависимость частоты модуляции от давления на входе.

Список литературы

1. *Модорский В.Я., Бульбович Р.В., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., П.В. Писарев.* Численное моделирование напряженно-деформированного состояния активной заглушки резонатора Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.95-100.
2. *Модорский В.Я., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., Писарев П.В., Соколкин Ю.В.* Численное моделирование деформированного состояния крупногабаритной конструкции из композиционного материала. Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.116-120.
3. *Модорский В.Я., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., Петров В.Ю., Писарев П.В.* Разработка экспериментального комплекса для анализа резонансных процессов в энергетических установках. Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.111-115.
4. *Модорский В.Я., Щенятский Д.В., Арбузов И.А., Бульбович Р.В., Кириевский Б.Е., Писарев П.В., А.А. Ташкинов.* Численное моделирование колебательных процессов в центробежном насосе. Научно-технический вестник Поволжья №3, 2012, Казань, с.44-49.
5. *Модорский В.Я., Козлова А.В., Петров В.Ю., Поник А.Н.* Инженерная методика определения настроек газохода переменного сечения для отвода и охлаждения горячих газов энергетических установок. Научно-технический вестник Поволжья №2, 2012, Казань, с. 216-219.

05.07.05

[1]И.А. Арбузов, [2]А.А. Ташкинов, [1]Д.В. Щенятский, [1]Б.Е. Кириевский, [2]Р.В. Бульбович, [2]В.Я. Модорский, [2]П.В. Писарев

[1] ОАО «Протон-ПМ»

[2] ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ВХОДА В СОЕДИНИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЕРВОЙ СТУПЕНИ МОДЕЛЬНОГО ДВУХСТУПЕНЧАТОГО НАСОСА[1]

Цель исследования заключается в изучении влияния конструктивных и технологических параметров на характеристики потока жидкости в каналах и разработке рекомендаций по уменьшению интенсивности непрогнозируемых режимов в каналах наукоемких изделий.

В рамках данной работы произведены численные эксперименты по моделированию потока в соединительном канале с учетом прилегающих свободных объемов. Выявлены особенности появления и усиления колебаний в модельных каналах при варьировании параметров потока и геометрии канала. Учитывается работа крыльчатки первой ступени. Рассматриваются два варианта конструкции: базовый и модернизированный.

Для проведения вычислительного эксперимента была построена геометрическая модель, которая состоит из свободного объем первой ступени (жидкостной регион) и крыльчатки (подвижное твердое тело).

Свободный объем первой ступени имеет два входа и два выхода. На боковых поверхностях модели расположены элементы осевого двустороннего входа A (рисунок 1). Первый выход B – выход из соединительного канала (рисунок 1). Второй выход C имеет большее сечение (рисунок 1). Крыльчатка, представляет из себя твердое тело D (рисунок 1). Ось вращения крыльчатки совпадает с осью вращения вала. Геометрическая модель построена с учетом тангенциального расположения выходов первой ступени, так же учитывалось геометрическое расширение каналов.

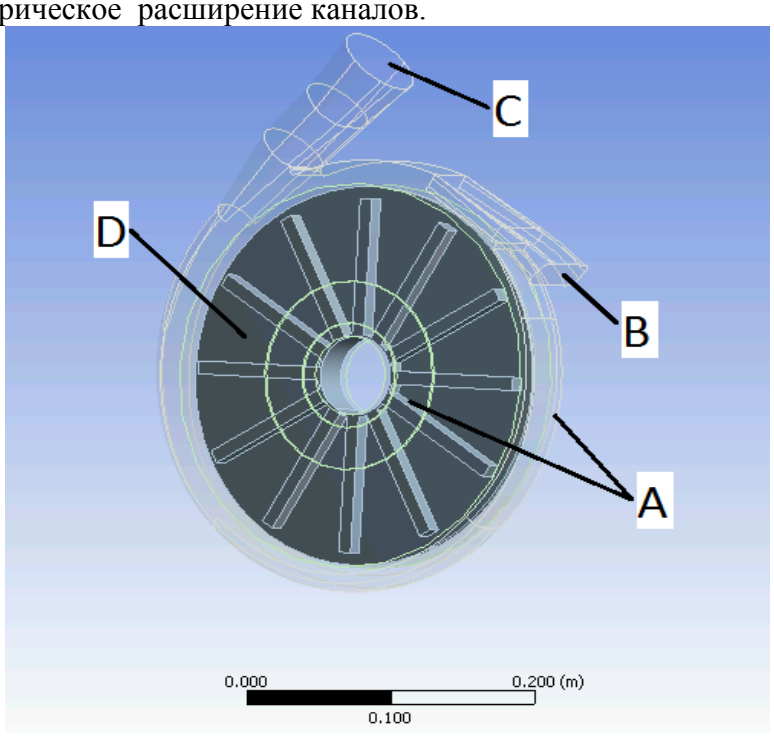


Рисунок 1 – Обозначение граничных условий.

[1] Работа выполнена в рамках сотрудничества с ОАО "Протон-ПМ" по постановлению 218.

Для решения данной задачи были построены две геометрические модели: базовая и модернизированная.

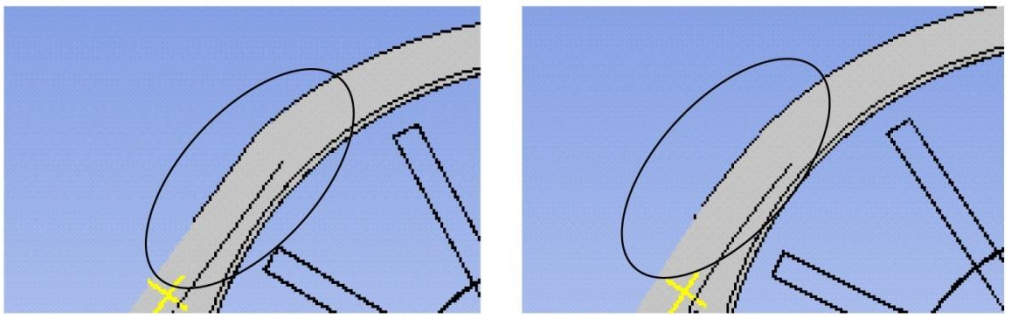
1. Базовая модель показана на рисунке 2 а.

2. Вторая модифицированная модель имеет конструктивную доработку (рисунок 2 б), которая представляет собой скругление входного тракта перед соединительным каналом.

Для гидродинамического расчета модельной задачи вращательное движение лопаток первой ступени с заданной частотой и с пульсирующей подачей жидкости в соединительный канал было реализовано через вращение «твердого» тела (крыльчатки первой ступени) D по рисунку 1.

Для проведения численного эксперимента были заданы следующие граничные условия:

- движение крыльчатки тела задавалось через постоянную скорость вращения n = 8500 об/мин.
- для граничного условия входа в первую ступень задавалось постоянное давление 0,05, 0,3 и 0,5 МПа., согласно плану вычислительного эксперимента.
- для граничного условия выхода из первой ступени задавалось граничное условие «свободный выход».



а б

Рисунок 2 – Геометрическая модель: а – базовая; б – модифицированная.

Для решения задач по расчету гидродинамических характеристик в свободном объеме первой ступени центробежного насоса, с учетом допущений была принята следующая расчетная модель:

- конструкция полагается трехмерной (x, y, z);
- расчет нестационарный;
- стенки конструкции не поглощают и не выделяют тепло;
- сила трения между стенками и рабочей жидкостью не учитывается;
- рабочее тело представляет собой вязкую сжимаемую жидкость(вода);
- стенки конструкции не деформируются;
- сила тяжести не учитывается;
- давление на входе подается через осевой двусторонний вход;
- реализуется Лагранжев подход, При этом кинетическая энергия вращения колеса передается жидкости и приводит ее в движение;
- колесо представляет собой вращающееся тело, состоящее из втулки и 12 одинаковых непрофилированных лопастей.

Для проведения вычислительных экспериментов составлен план, включающий описание трех вариантов.

Таблица 1 План вычислительных экспериментов.

Вариант расчета	Давление на входе, МПа.			Скорость вращения, об./мин.	Время расчета, с
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3		
Базовый	0,05	0,3	0,5	8500	0,021
Доработка	0,05	03	0,5	8500	0,021

В ходе вычислительного эксперимента производилась оценка влияния давления на входе в первую ступень центробежного насоса, на колебательные процессы в соединительном канале для базовой и модифицированной конструкции. Давление на входе в первую ступень задавалось равным 0,05; 0,3 и 0,5 МПа. Остальные значения оставались неизменными (таблица 1).

На рисунке 3 изображена схема расположения математического «датчика давления». «Датчик» располагается в центре сечения.

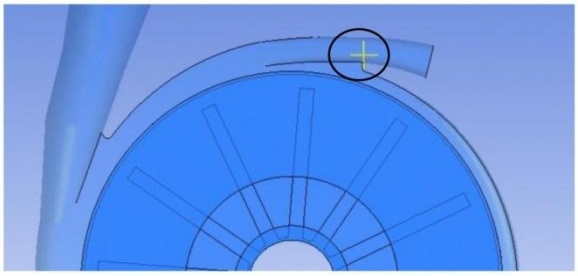


Рисунок 3 – Схема расположения «датчика» давления

В ходе вычислительных экспериментов получены зависимости давлений от времени, при различных давлениях входа в базовой конструкции и модифицированной.

В таблице 2 приводится зависимость амплитуд и частот колебаний от конструкции и давления на входе. Видно, что с увеличением давления на входе частота модулирующего сигнала повышается ≈ 100 Гц. Доработка конструкции приводит к снижению частоты ≈ 100 Гц. При этом номинальное значение давления в конструкции с доработкой снижается ≈ 0,5 МПа

Таблица 2. Зависимость амплитуд и частот колебаний от конструкции и давления на входе.

P,МПа	базовая		модернизированная		Δ
	$f_н$, Гц	$P_{ном}$, МПа	$f_н$, Гц	$P_{ном}$, МПа	
0,05	333	6,75	222	6,25	0,5
0,3	333	7,05	222	6,5	0,5
0,5	400	7,05	333	6,75	0,3

В базовой конструкции обнаружены высокочастотные колебания (≈1700 Гц), модулированные низкочастотными колебаниями (≈ 222 – 333 Гц).

При $P_{вх}$ = 0,05 МПа, в базовой конструкции обнаружены колебания частотой $f_в$ = 1700 Гц, частота модуляции $f_н$ = 333 Гц. В модернизированной конструкции обнаружены колебания частотой $f_в$ = 1700 Гц, частота модуляции $f_н$ = 222 Гц.

При $P_{вх}$ = 0,3 МПа, в базовой конструкции обнаружены колебания частотой $f_в$ = 1700 Гц, частота модуляции $f_н$ = 333 Гц, в модернизированной конструкции обнаружены колебания частотой $f_в$ = 1700 Гц, частота модуляции $f_н$ = 222 Гц.

При $P_{вх}$ = 0,5 МПа, в базовой конструкции обнаружены колебания частотой $f_в$ = 1700 Гц, частота модуляции $f_н$ = 400 Гц, в модернизированной конструкции обнаружены колебания частотой $f_в$ = 1700 Гц, частота модуляции $f_н$ = 333 Гц.

Выводы:

1. Обнаружено понижение в 1,5 раза частоты модуляции колебаний давления в соединительном канале, в конструкции с доработкой $P_{вх} = 5$ атм.
2. Изменения несущей частоты при доработке конструкции не наблюдается.
3. Модуляция обусловлена формированием пульсирующей области высокого давления в межлопаточном пространстве. Частота модуляции близка к частоте вращения крыльчатки.
4. Доработка конструкции приводит к понижению частоты модуляции ≈ 100 Гц.

Список литературы

1. *Модорский В.Я., Бульбович Р.В., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., П.В. Писарев.* Численное моделирование напряженно-деформированного состояния активной заглушки резонатора Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.95-100.
2. *Модорский В.Я., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., Писарев П.В., Соколкин Ю.В.* Численное моделирование деформированного состояния крупногабаритной конструкции из композиционного материала. Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.116-120.
3. *Модорский В.Я., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., Петров В.Ю., Писарев П.В.* Разработка экспериментального комплекса для анализа резонансных процессов в энергетических установках. Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.111-115.
4. *Модорский В.Я., Щенятский Д.В., Арбузов И.А., Бульбович Р.В., Кириевский Б.Е., Писарев П.В., А.А. Ташкинов.* Численное моделирование колебательных процессов в центробежном насосе. Научно-технический вестник Поволжья №3, 2012, Казань, с.44-49.

05.13.18

А.О. Артемова

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ ДВУЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА НА ПОДВИЖНОМ ОСНОВАНИИ[1]

В работе рассматривается задача управления движением двузвенного манипулятора на подвижном основании.

Ключевые слова: *математическое моделирование, управление движением, робототехническая система, двузвенный манипулятор.*

Исследуем задачу управления движением двузвенного манипулятора на подвижном основании, используя представленные в работе [1] методы и алгоритмы построения управляющих воздействий.

Схема манипулятора представлена на рисунке 1.

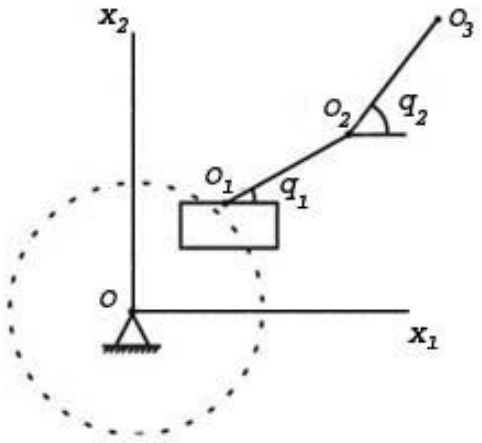


Рис. 1. Двузвенный манипулятор на подвижном основании

Манипулятор состоит из двух звеньев, связанных шарниром O_2. Первое звено при помощи шарнира O_1 связано с подвижным основанием. На конце второго звена в точке O_3 укреплен схват, в котором находится перемещаемый груз. Оси шарниров параллельны друг другу. Предположим, что звенья манипулятора представляют собой однородные стержни, а линейные размеры схвата и груза много меньше длин звеньев манипулятора, и при исследовании транспортных движений считать схват с грузом материальной точкой.

Будем считать, что манипулятор перемещается в горизонтальной плоскости или в невесомости, т.е. в отсутствии силы тяжести, причем основание совершает только поступательные движения. Пусть функции $x_1(t)$ и $x_2(t)$ описывают положения центра масс основания в инерциальной системе координат.

Манипулятор управляется при помощи двух независимых приводов D_1, D_2, расположенных в шарнирах O_1 и O_2 соответственно. Главные моменты относительно осей

[1] Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0373 «Развитие методов и алгоритмов исследования задач об управлении нелинейными механическими системами и компьютерное моделирование управляемого движения системы тел».

шарниров O_1, O_2 сил, создаваемые приводами D_1, D_2 и приложенных к звеньям, соответственно равны M_1, M_2. Действие других сил, кроме реакции основания, не учитывается.

В качестве обобщенных координат системы q_1, q_2 выберем шарнирные углы звеньев. Обозначим: m_1, m_2 - массы звеньев, l_1, l_2 - длины звеньев, m_3 - масса груза.

Уравнения Лагранжа для рассматриваемой механической системы имеют вид

$$\begin{cases} h_1\ddot{q}_1 + h_3\cos(q_1-q_2)\ddot{q}_2 + h_3\sin(q_1-q_2)\dot{q}_2^2 + h_4\left(\ddot{x}_2(t)\cos q_1 - \ddot{x}_1(t)\sin q_1\right) = M_1 - M_2, \\ h_2\ddot{q}_2 + h_3\cos(q_1-q_2)\ddot{q}_1 - h_3\sin(q_1-q_2)\dot{q}_1^2 + h_5\left(\ddot{x}_2(t)\cos q_2 - \ddot{x}_1(t)\sin q_2\right) = M_2, \end{cases}$$

где $h_1 = \left(m_1/3 + m_2 + m_3\right)l_1^2$, $h_2 = \left(m_2/3 + m_3\right)l_2^2$, $h_3 = \left(m_2/2 + m_3\right)l_1 l_2$, $h_4 = \left(m_1/2 + m_2 + m_3\right)l_1$, $h_5 = \left(m_2/2 + m_3\right)l_2$.

Возьмем управление u в виде:

$$u = -K\,sign\,z,$$

Пусть $\left(q_1^*(t), q_2^*(t)\right)$ – какое-либо программное движение манипулятора. В соответствии с результатом 2 работы [1] задача о стабилизации этого движения решается релейным управлением вида:

$$U_1 = -k_1 sign(\dot{q}_1 - \dot{q}_1(t) + c_1(q_1 - q_1(t)))$$

$$U_2 = -k_2 sign(\dot{q}_2 - \dot{q}_2(t) + c_2(q_2 - q_2(t)))$$

Проведено численное моделирование при следующих параметрах системы:

$m_1 = 20$ кг, $m_2 = 10$ кг, $m_3 = 5$ кг, $l_1 = 0{,}8$ м, $l_2 = 0{,}5$ м, $c_1 = 1{,}835$, $c_2 = 2{,}8$, $k_1 = 319{,}407$, $k_2 = 114{,}987$,

$$q_1(0) = 0.5, q_2(0) = 0.5, \dot{q}_1(0) = 0, \dot{q}_2(0) = 0$$

Положим, что основание совершает движение по следующему закону:

$$x_1(t) = \cos(2t),\ x_2(t) = \sin(2t).$$

В качестве программного выбрано следующее движение:

$$q_1^*(t) = 1{,}1\sin(1{,}2t + 1),\ q_2^*(t) = 1{,}3\sin(1{,}6t + 1{,}9),$$

$$\dot{q}_1^*(t) = 1{,}32\cos(1{,}2t + 1),\ \dot{q}_2^*(t) = 2{,}08\cos(1{,}6t + 1{,}9).$$

Стабилизация движения манипулятора к программному представлена на рисунках 2-3.

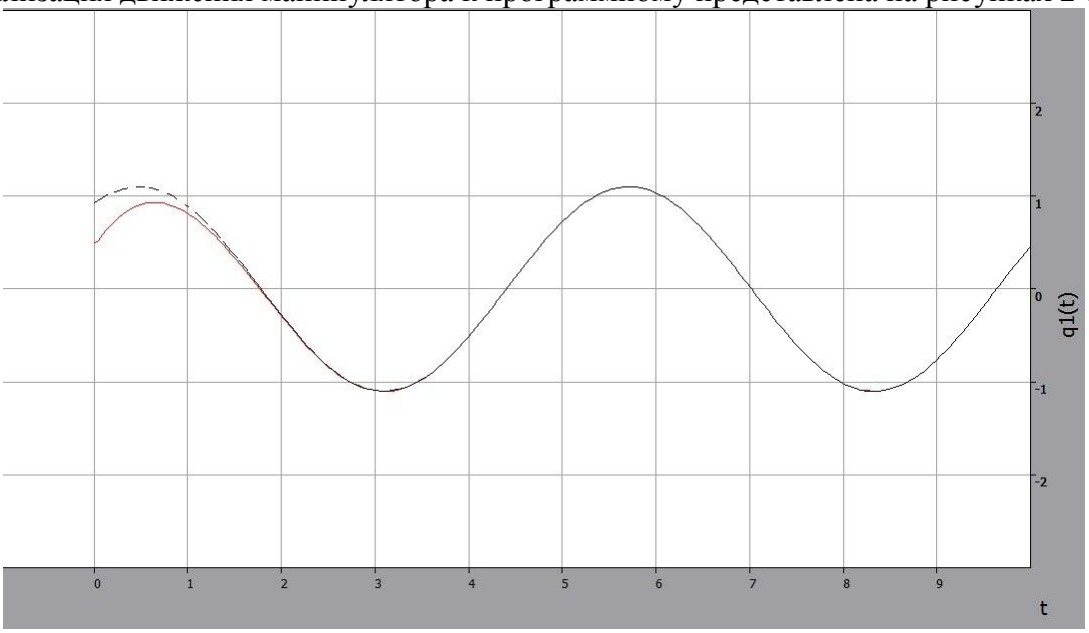


Рис. 2. Пунктирная линия на графике – программное движение, сплошная - зависимость $q_1(t)$

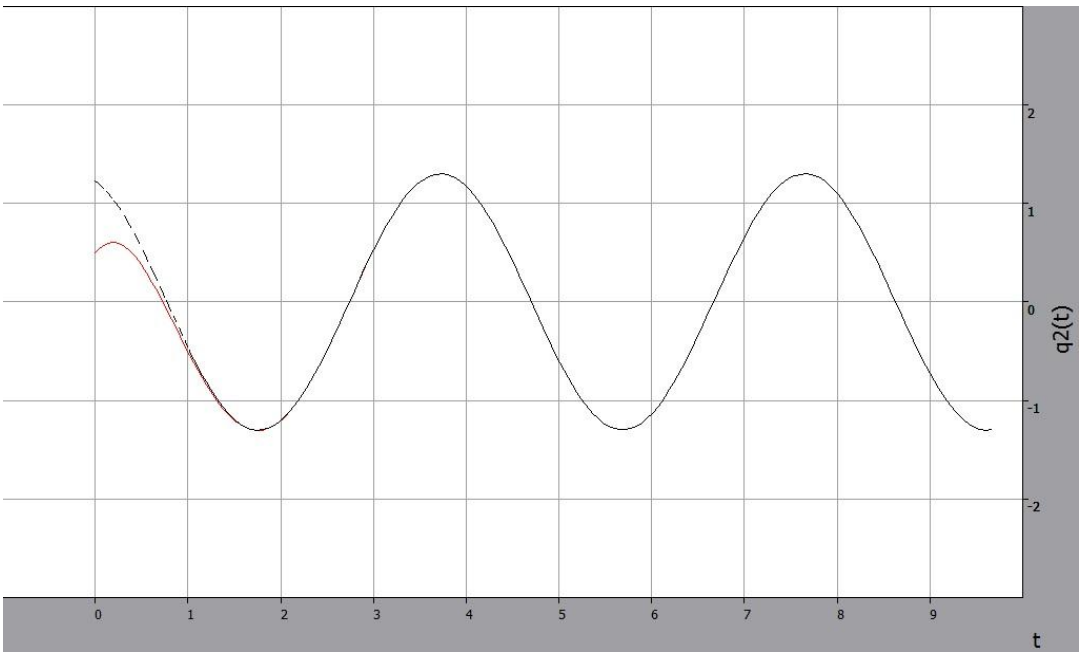


Рис. 3. Пунктирная линия на графике – программное движение, сплошная - зависимость $q_2(t)$

Численное моделирование подтверждает сходимость движения манипулятора к программному.

Список литературы

1. *Андреев А.С., Артемова А.О.* Об управлении движением голономной механической системы // Научно-технический вестник Поволжья, 2012 – №6 (в печати).

05.12.14

[1]В.М. Артюшенко д.т.н., [2]В.И. Воловач к.т.н.

[1]Финансово-технологическая академия,
кафедра информационных технологий и управляющих систем,
г. Королев, artuschenko@mail.ru

[2]Поволжский государственный университет сервиса,
кафедра информационного и электронного сервиса,
г. Тольятти, ssunrise@mail.ru

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ПУТЕЙ И ЕЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Проведен анализ условий работы системы контроля заполнения путей. Сформулирован алгоритм работы системы динамического контроля заполнения путей и предложена структурная схема такой системы. Определены требования к радиотехническому измерителю повышенной точности.

Ключевые слова: *система автоматизированного регулирования скорости, прицельное торможение, система контроля заполнения путей, парковая тормозная позиция, доплеровский измеритель скорости.*

Опыт эксплуатации отечественных и зарубежных автоматизированных горок показывает, что системы автоматизированного регулирования скорости (АРС) движения отцепов (как одиночных, так и сгруппированных вместе нескольких вагонов), призванные обеспечить прицельное торможение и, как следствие, заданную плотность заполнения путей подгорочного парка, является одним из ответственных систем, решающим образом определяющих качество автоматизации в целом.

На функционирование систем АРС оказывает влияние множество факторов случайного характера. При относительно высоких скоростях роспуска, большом разбросе удельных ходовых сопротивлений отцепов, малой допустимой скорости соударений (1,5 м/с), реализация систем АРС с предельным торможением, которая отвечала бы предъявляемым требованиям, является очень сложной технической задачей. Причем с повышением скорости роспуска степень влияния случайных факторов на качество прицельного торможения (ПТ) возрастает.

Повысить качество ПТ можно, идя в двух направлениях:

1. Для эксплуатируемых систем АРС путем повышения точности измерения длины свободной части пути и совершенствования технических средств измерения параметров движения отцепов.
2. Для создаваемых и перспективных систем АРС – совершенствование алгоритмов управления тормозными позициями (ТП) на базе технических средств измерения ходовых свойств отцепов, отличающихся высокой точностью оценок параметров движения.

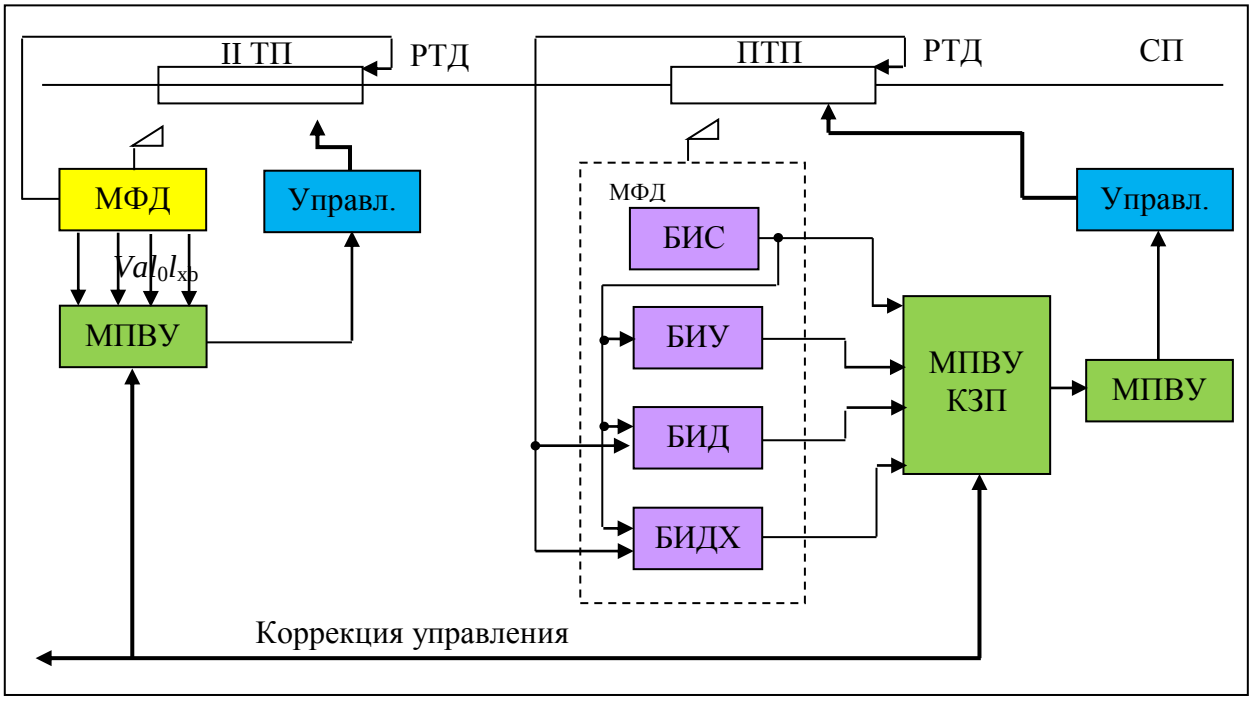
Как видно, оба направления требуют совершенствования или создания новых технических средств измерения отличающихся повышенной степенью точности оценок параметров движения отцепов.

Существенно уменьшить влияние всевозможных случайных факторов, влияющих на определение точки прицельного торможения (ТПТ), позволит динамическая система контроля заполнения путей (КЗП) [1], предлагающая использование в системах АРС информационно-измерительных датчиков, обладающих более высокой точностью и разрешающей способностью, а также новыми функциональными возможностями.

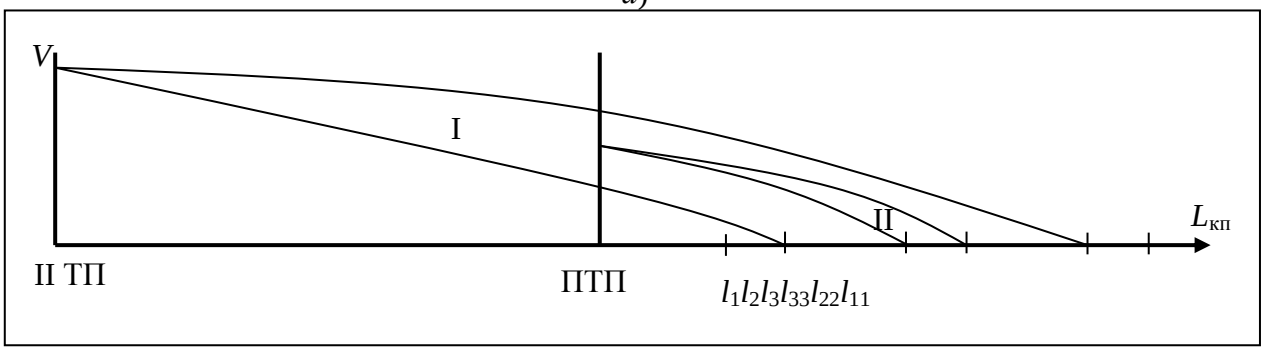
Алгоритм работы системы динамического КЗП неразрывно связан с работой систем АРС и может быть рассмотрен на базе дополнения их новыми техническими средствами.

На рис. 1.1 показана структурная схема и диаграмма, поясняющая принцип динамического контроля заполнения путей.

Так, если прицельное торможение осуществляется на второй тормозной позиции (IIТП) и используются данные измерения на спускной части горки, то следует ожидать возможную остановку движущегося отцепа в зоне $l_1 l_{11}$сортировочного пути (СП). Как известно, протяженность этой зоны настолько велика, что не отвечает требованиям ПТ (превышение скорости соударения, большая величина «окон»).



а)



б)

Рис. 1. Структурная схема динамического КЗП

Однако, если в зоне IIТП дополнительно осуществлять измерение ускорения и физическую длину отцепов, включая измерение скорости, то измеренные параметры позволяют уточнить ТПТ и откорректировать по цепи управления IIТП заданную скорость выхода отцепа из ТП. Хотя в этом случае и следует ожидать остановку отцепа в зоне $l_2 l_{22}$, которая меньше $l_1 l_{11}$, тем не менее, ее протяженность не может обнадежить в выполнении эксплуатационно-технических требований. Объясняется это возможностью существенного изменения ходовых свойств в зоне между IIТП и парковой тормозной позицией (ПТП).

Для получения более точных данных о ходовых свойствах отцепа и точки ПТ предлагается в районе ПТП измерить ускорение и длину проходящих отцепов на СП. С этой целью перед ПТП необходимо установить многофункциональный радиотехнический датчик

(МФД) параметров движения отцепа состоящий из: БИС – блок измерения скорости; БИУ – блок измерения ускорения; БИД – блок измерения длины; БИДХ – блок измерения дальности до «хвостового» отцепа.

Алгоритм его работы заключается в следующем. На участке подхода к ПТП, МФД начинает измерять скорость отцепа, которую продолжает измерять до выхода отцепа из ТП. За время перемещения отцепа через ПТП измеряется ускорение его движения. Одновременно на этом участке измеряется длина отцепов на базе информации о времени прохода отцепа, поступающая с радиотехнического датчика (РТД), и его скорости.

Информация о наличии уточненных данных параметров движения поступает в микропроцессорное вычислительное устройство КЗП (МПВУ КЗП), которое вычисляет предполагаемую точку остановки отцепа на СП и выдает информацию в МПВУ, предусмотренную в системе АРС, в частности КГМ РИИЖТ.

На базе этой информации в МПВУ корректируются параметры выхода отцепа из ПТП, и блок управления последней адаптируется на откорректированное значение выходной скорости отцепа. При движении отцепа по ПТП фактическая скорость его движения сравнивается уже с откорректированным значением требуемой скорости выхода. Наличие двухсторонней связи МПВУ, IIТП и ПТП позволяет корректировать управление не только движущимся между ними отцепом, но и осуществлять «упреждение», то есть корректировать управляющее воздействие для отцепа, приближающегося ко IIТП и движущегося на тот же СП.

Введение БИДХ на ПТП, осуществляющего слежение за измерением дальности перемещения отцепа по СП, позволяет определить его фактическую точку остановки при отсутствии следующего отцепа движущегося по этому же СП. По этой информации, а также на основании известных данных о длине СП и измеренных параметрах длины отцепа в МПВУ КЗП производится вычисление степени заполнения СП.

Уточнение параметров движения отцепов на IIТП и ПТП, на базе измеренных и вычисленных в МПВУ данных о степени заполнения СП, при наличии цепей коррекции управления ТП позволяет существенно уменьшить ожидаемую зону остановки $l_3 l_{33}$ на СП.

На основе созданной таким образом системы КЗП можно осуществить полностью замкнутый цикл регулирования процесса роспуска.

Итак, динамическое КЗП позволит: во-первых, повысить степень заполнения путей подгорочного парка, уменьшить длину «окон» и вероятность превышения скорости столкновения отцепов выше допустимого значения 1,5 м/с; во-вторых, в идеале создание подобной системы позволило бы рассмотреть вопрос о гарантированном заполнении путей подгорочного парка не только в пределах зоны автоматизации (400 м), как это имеет место сейчас, а в пределах всего СП; в-третьих, резко сократить количество оборудования, установленного на путях и междупутье.

Как известно [2, 3], основными источниками погрешности и, как результат, снижение качества прицельного торможения, являются большая погрешность оценки заданной скорости выхода из ТП; неточность определения ходовых свойств и задания фактического профиля сортировочного пути.

В настоящее время на автоматизированных горках РФ, Германии, США, Франции, Японии и ряда других стран, для измерения скорости движения отцепов применяются доплеровские измерители скорости (ДИС). Горочные ДИС относятся к устройствам ближней радиолокации. Максимальная дальность действия измерителей находится в пределах 25…100 м.

Работают горочные ДИС в режиме непрерывного генерирования СВЧ колебаний. Информация об измеренном значении скорости движения снимается с выхода измерителя в виде последовательности импульсов с частотой следования, пропорциональной скорости (частотный выход), или в виде постоянного напряжения, пропорционального скорости (аналоговый выход).

В настоящее время на сортировочных горках страны широкое применение нашли две модификации напольных скоростемеров РИС-В3. Обе модификации являются наиболее простыми измерителями скорости, требующими сравнительно большого превышения уровня сигнала над шумами. Их использование целесообразно в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокую надежность при относительно небольшом диапазоне изменения скоростей $_{\Delta}V = V_{max}/V_{min} = 1{,}5…2{,}5$.Однако статистические данные скоростей движения отцепов по замедлителям сортировочных горок большой мощности показывают, что они могут изменяться в диапазоне от 1,5 до 9,15 [4].

Кроме того, как показывает практика, измерители этих модификаций, в условиях сильных флуктуаций отраженного доплеровского сигнала, приводящих к его замираниям, работают крайне неустойчиво.

Попытка совершенствования радиолокационного измерителя предпринята в третьей модификации РИС-В3 [4]. Существенным отличием и преимуществом этой модификации является введение в его схему системы фазовой автоподстройки частоты (ФАП), что позволяет уменьшить погрешность измерения скорости при длительных замираниях сигнала, что особенно характерно на малых скоростях движения отцепа.

Однако, как показывает эксплуатация, и эта последняя модификация из-за не оптимально выбранных параметров системы ФАП не обеспечивает необходимой точности, достоверности и устойчивой работы измерителя в условиях сильных замираний отраженного доплеровского сигнала в широком динамическом диапазоне измеряемых скоростей.

Анализ расчетной скорости выхода отцепа из тормозной позиции показывает, что наиболее важной величиной, достоверная оценка которой необходима для успешного функционирования систем КЗП после измерения скорости, является удельное сопротивление движению отцепов [2].

Сложность задачи определения величины удельного сопротивления движения отцепов, характеризующего ходовые свойства, объясняется тем, что она не подлежит непосредственному измерению. В настоящее время оценка ходовых свойств отцепов осуществляется косвенным путем, через величину приведенного ускорения отцепа на определенном измерительном участке [3].

Существующие способы измерения ускорения дают случайное усреднение функции ускорения в пределах измерительного участка и не могут отражать действительных ходовых свойств отцепов. Относительная погрешность измерения ускорения при этих способах измерения может достигать 40…80%, что не приемлемо.

Таким образом, второй важной задачей, которую требуется решить для качественного улучшения систем КЗП – создание измерителя ускорения повышенной точности.

Для повышения качества прицельного торможения важное значение имеет возможность получения достоверной информации о действительной длине отцепов, проследовавших ТП, а также возможность осуществления слежения за измерением дальности перемещения отцепа по СП, позволяющая определить его фактическую точку остановки. Эта информация, с учетом известной длины СП, позволит с высокой степенью точности производить вычисление степени заполнения СП.

Существующие в настоящее время способы измерения длины отцепов и дискретности контроля заполнения пути, с помощью рельсовых цепей и индуктивных путевых датчиков, не удовлетворяют предъявляемым в настоящее время эксплуатационно-техническим требованиям, так как ошибка измерения в этих случаях может составлять ±12…±30 м [5 – 7].

Таким образом, для кардинального повышения качества прицельного торможения необходимо создание новых радиотехнических измерителей, позволяющих с повышенной точностью измерять такие важные параметры движения отцепа как скорость, ускорение, а также его длину и дальность до «хвостового» отцепа [8].

Исходя из того, что для определения этих параметров требуется прежде всего точная информация о скорости движения отцепа, необходимо создание измерителя скорости

движения отцепов, обладающего повышенной точностью и достоверностью, работающего в тяжелой помеховой обстановке сортировочной горки.

Список литературы

1. *Шелухин В.И., Артюшенко В.М.* Динамический контроль заполнения путей подгорочного парка на базе радиотехнических устройств // Тр. МИИТа. – 1988. Вып. 807. – С. 80–84.
2. *Муха Ю.А., Павловский Л.И.* Динамика скатывания отцепов с горки и проблема оценки их ходовых свойств // Тр. ДИИТа, 1981, Вып. 216. С. 37–47.
3. *Павловский Л.И.* О погрешности оценки ходовых свойств отцепов на измерительном участке // Тр. ДИИТа, 1981, Вып. 216. – С. 61–68.
4. *Шелухин В.И., Шелухин О.И., Щербаков Е.В.* Опыт разработки и особенности эксплуатации горочных радиолокационных измерителей скорости // Ж.-д. транспорт. Сер. Автоматика и связь: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС. – 1988. – Вып. 4. – С. 1–19.
5. Радиотехнические железнодорожные устройства // В.В. Григорин-Рябов, А.М. Вериго, О.И. Шелухин, В.И. Шелухин. – М.: Транспорт, 1986. – 160 с.
6. *Модин Н.К., Щербаков Е.В.* Техническое обслуживание горочных устройств. – М.: Транспорт, 1989. – 167 с.
7. *Гудин А.И., Бусилас Г.Л.* По пути совершенствования работы механизированной сортировочной горки // Автоматика, телемеханика и связь. – 1983. №9. С. 15–17.
8. Пути создания унифицированных информационно-измерительных датчиков систем горочной автоматизации. Шелухин В.И., Шелухин О.И., Парилов В.А, Артюшенко В.М. / Тез. докл. ВНТК: М, 1989. – С. 30–31.

05.13.18

В.А. Атряхин, П.А. Шаманаев к.ф.-м.н.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра прикладной математики,
Саранск, atrvol@rambler.ru

К ВОПРОСУ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ОТКЛОНЯЮЩИМСЯ АРГУМЕНТОМ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

В статье рассматривается математическая модель, описывающая процесс воспроизводства научных кадров на этапе поступления в аспирантуру. Предлагаемая модель является системой обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Излагается численный алгоритм ее решения. Неизвестные параметры математической модели находятся на основе известных статистических данных за промежуток времени, предшествующий прогнозируемому.

Ключевые слова: *обыкновенные дифференциальные уравнения с запаздывающим аргументом, математическое моделирование, воспроизводство научных кадров.*

1. Постановка задачи

Рассмотрим процесс обучения студентов от момента поступления до окончания высшего учебного заведения. Множество студентов, поступившую в университет в i–ом году будем называть i–ым потоком студентов.

Рассмотрим модель, описывающую динамику численности претендентов на поступление в аспирантуру, в виде следующей системы дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом:

$$\begin{cases} \dot{y}(t) = a' w(t) + b' y(t-h) + c' z(t-h), \\ \dot{z}(t) = a'' w(t) + b'' z(t-h) + c'' y(t-h), \\ \dot{w}(t) = y(t) - z(t). \end{cases} \qquad (1)$$

Здесь $w(t)$ – численность претендентов на поступление в аспирантуру в момент времени t; $y(t)$ – численность потока присоединяющихся к группе претендентов на поступление в аспирантуру в момент времени t; $z(t)$ – численность потока выбывающих из группы претендентов на поступление в аспирантуру в момент времени t. Все коэффициенты системы дифференциальных уравнений постоянны и не зависят от времени t.

2. Построение разностной вычислительной схемы

Для экспериментальной проверки построенной математической модели, необходимо перейти от системы дифференциальных уравнений к разностной вычислительной схеме. Применим к системе (1) интегро-интерполяционный метод построения разностных схем [3].

Для построения разностной схемы на отрезке $[t_0, T]$ введем равномерную сетку с шагом δ, то есть множество точек $t_i = t_0 + i\delta$, $i = 0,1,2,..,N$, $T - t_0 = N\delta$. Проинтегрировав систему (1) по отрезку $[(i-1)\delta, i\delta]$, получим систему:

$$\begin{cases} \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} \dot{y}(\tau)d\tau = a' \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} w(\tau)d\tau + b' \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} y(\tau-\delta)d\tau + c' \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} z(\tau-\delta)d\tau, \\ \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} \dot{z}(\tau)d\tau = a'' \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} w(\tau)d\tau + b'' \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} z(\tau-\delta)d\tau + c'' \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} y(\tau-\delta)d\tau, \\ \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} \dot{w}(\tau)d\tau = \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} y(\tau)d\tau - \int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} z(\tau)d\tau. \end{cases} \quad (2)$$

Введем следующие обозначения $Y(t) = \int\limits_{t-\delta}^{t} y(\tau)d\tau$, $Z(t) = \int\limits_{t-\delta}^{t} z(\tau)d\tau$, $W(t) = \int\limits_{t-\delta}^{t} w(\tau)d\tau$ и аппроксимируем конечными разностями $\frac{1}{\delta}\left[Y(i\delta) - Y((i-1)\delta)\right]$, $\frac{1}{\delta}\left[Z(i\delta) - Z((i-1)\delta)\right]$, $\frac{1}{\delta}\left[W(i\delta) - W((i-1)\delta)\right]$ – соответствующие интегралы от производных в левых частях системы (2). Интеграл $\int\limits_{(i-1)\delta}^{i\delta} w(\tau)d\tau$ аппроксимируем выражением $\frac{\delta}{2}\left[w((i-1)\delta) + w(i\delta)\right]$.

С учетом этих замечаний, получим следующую систему конечно-разностных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{1}{\delta}\left[Y(i\delta) - Y((i-1)\delta)\right] = a'\frac{\delta}{2}\left[w((i-1)\delta) + w(i\delta)\right] + b'Y((i-1)\delta) + c'Z((i-1)\delta), \\ \frac{1}{\delta}\left[Z(i\delta) - Z((i-1)\delta)\right] = a''\frac{\delta}{2}\left[w((i-1)\delta) + w(i\delta)\right] + b''Z((i-1)\delta) + c''Y((i-1)\delta), \\ \frac{1}{\delta}\left[W(i\delta) - W((i-1)\delta)\right] = Y(i\delta) - Z(i\delta). \end{cases} \quad (3)$$

Вводя для краткости записи системы (3), следующие обозначения:

$$\bar{y}^{i} = Y(i\delta),\ \bar{z}^{i} = Z(i\delta),\ \bar{w}^{i} = W(i\delta),$$

$$a = a'\delta^2,\ b = b'\delta + 1,\ c = c',\ k = a''\delta^2,\ l = b''\delta + 1,\ m = c'',$$

запишем систему уравнений для j–го потока студентов:

$$\begin{cases} \bar{y}_j^{i} = \frac{1}{2}a^i\left(\bar{w}_j^{i} + \bar{w}_j^{i-1}\right) + b^i\bar{y}_{j-1}^{i} + c^i\bar{z}_{j-1}^{i}, \\ \bar{z}_j^{i} = \frac{1}{2}k^i\left(\bar{w}_j^{i} + \bar{w}_j^{i-1}\right) + l^i\bar{z}_{j-1}^{i} + m^i\bar{y}_{j-1}^{i}, \\ \bar{w}_j^{i} = \bar{w}_j^{i-1} + \bar{y}_j^{i} - \bar{z}_j^{i}. \end{cases} \quad (4)$$

где $\bar{y}_j^{i}$ – количество студентов j–го потока, присоединяющихся к группе претендентов на поступление в аспирантуру после i–ой сессии, $\bar{z}_j^{i}$ – количество студентов j–ого потока, выбывающих из группы претендентов на поступление в аспирантуру после i–ой сессии, $\bar{w}_j^{i}$ – численность группы претендентов на поступление в аспирантуру j–ого потока студентов после i–ой сессии.

3. Описание численного алгоритма решения разностной схемы

Рассмотрим алгоритм проведения вычислений по полученной разностной схеме на примере учащихся заведений высшего профессионального образования. Будем предполагать, что студенты за весь срок обучения проходят девять промежуточных этапов учета знаний.

Предполагается, что известна статистическая информация в разрезе девяти сессий по N потокам, предшествующим прогнозируемому $N+1$ –ому потоку: $y_j^i, z_j^i, w_j^i, x_j^i, j=\overline{1,N}$, $i=\overline{2,9}$ и данные о результатах первой сессии $N+1$ – го потока – w_{N+1}^1. Цель вычислений – количество студентов $N+1$ – го потока, которые будут в группе претендентов на поступление в аспирантуру после девятой сессии, – w_{N+1}^9.

Численный алгоритм состоит из двух этапов. На первом этапе для каждого i $(i=\overline{2,9})$ вычисляются неизвестные параметры системы (4).

Коэффициенты a^i, b^i, c^i, $i=\overline{2,9}$, первого уравнения системы (4) находятся как решение системы линейных алгебраических уравнений следующего вида:

$$A^{iT} Y^i = A^{iT} A^i \; X^i, \; i=\overline{2,9},$$

где $Y^i = \begin{pmatrix} y_2^i \\ \vdots \\ y_n^i \end{pmatrix}$, $A^i = \begin{pmatrix} \frac{w_2^i + w_2^{i-1}}{2} & \bar{y}_1^i & \bar{z}_1^i \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{w_N^i + w_N^{i-1}}{2} & \bar{y}_{N-1}^i & \bar{z}_{N-1}^i \end{pmatrix}$, $X^i = \begin{pmatrix} a^i \\ b^i \\ c^i \end{pmatrix}$.

Аналогично находятся коэффициенты k^i, l^i, m^i, $i=\overline{2,9}$, второго уравнения системы (4).

На втором этапе численного алгоритма, используя найденные коэффициенты $a^i, b^i, c^i, k^i, l^i, m^i$, $i=\overline{2,9}$, находятся прогнозируемые численности группы претендентов на поступление в аспирантуру $\bar{w}_{N+1}^i$, $i=\overline{2,9}$. Вычисления осуществляются по итерационной формуле:

$$\bar{w}_{N+1}^i = \frac{\left(1+a^i/2-k_j^i/2\right)\bar{w}_{N+1}^{i-1} + \left(b^i - m_j^i\right)\bar{y}_N^i + \left(c^i - l^i\right)\bar{z}_N^i}{\left(1+k^i/2-a^i/2\right)}, \; i=\overline{2,9}.$$

Апробация предложенной модели проводилась на основе статистических данных об успеваемости одной группы студентов очной формы обучения специальности «Прикладная математика и информатика» математического факультета МГУ им. Н.П.Огарева, поступивших в университет с 2000 по 2006 год.

Среднеквадратичное отклонение прогнозируемых данных от реальной статистики составило 18,26%, что говорит о том, что прогнозируемые значения достаточно близки к реальным данным с точки зрения математического моделирования в социологических исследованиях. Таким образом, построенная математическая модель позволяет прогнозировать динамику численности претендентов на поступление в аспирантуру на основе статистических данных за несколько лет, предшествующих прогнозируемому отрезку времени.

Список литературы

1. *Бородкин Ф.М., Соболева С.В.* Прогнозирование численности населения и миграции системой дифференциальных уравнений // Математические методы в социологии. 1974. – С. 99-145.
2. *Прасолов А.В.* Динамические модели с запаздыванием и их приложения в экономике и инженерии – СПб.: Лань, 2010. – 192 с.
3. *Самарский А.А., Гулин А.В* Численные методы – М.: Наука, 1989. – 262с.
4. *Шаманаев П.А., Атряхин В.А.* Численное моделирование динамики потока научных и научно-педагогических кадров на основе статистических данных по МГУ им. Н.П. Огарева // Журнал Средневолжского математического общества. 2011. Т. 13, №1. – С. 84-90.
5. *Эльсгольц Л.Э., Норкин С.Б.* Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом – М.: Наука, 1971. – 296с.

05.02.07

М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов к.т.н., М.М. Гимадеев к.т.н.,
В.Н. Друлис к.т.н., В.А. Кривошеев к.т.н., Т.В. Рзаева

Камская государственная инженерно-экономическая академия,
автомеханический факультет, кафедра конструирования и инженерной графики,
Набережные Челны, nailahmat@yandex.ru

К ВОПРОСУ ОБ ОКОНЧАНИИ ФОРМИРОВАНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ПРИ ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ В ВОДЕ

В статье представлены результаты исследования процесса формирования и распространения ударных волн при высоковольтном электрическом разряде в воде. Для рассматриваемого диапазона параметров разряда экспериментально определена скорость распространения волны давления и рассчитан момент достижения энергией ударной волны максимального значения.

Ключевые слова: *высоковольтный электрический разряд в воде; скорость распространения волны давления; интенсивность ударной волны.*

Создание новейших образцов техники потребовало применения новых материалов с нетрадиционными свойствами и, как следствие, новых методов их обработки. В связи с этим получили распространение высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов, в частности технологические процессы, использующие электрогидравлический удар, которые называют также разрядно-импульсными или электровзрывными технологиями.

Вопрос об эффективности разрядно-импульсных технологий связан с необходимостью выбора такого оптимального режима разряда, при котором обеспечивается максимум механического действия на объект обработки. При всём многообразии электровзрывных технологических процессов мерой такого воздействия служат параметры ударной волны (УВ). Используемые методы расчёта параметров ударной волны при высоковольтном электрическом разряде в воде во многом аналогичны случаю взрыва взрывчатых веществ (ВВ), и не до конца учитывают особенности процесса энерговыделения. С гидродинамической точки зрения электрический взрыв в жидкости можно рассматривать как процесс нестационарного расширения непроницаемой полости [6]. Однако гидродинамика электровзрыва в жидкости существенно отличается от гидродинамики взрыва ВВ.

Во-первых, электрические разряды сопровождаются значительно большими потерями энергии, чем при взрыве ВВ, поскольку вещество в канале электрического разряда (КЭР) имеет температуру порядка несколько десятков тысяч градусов, в то время как при взрывах ВВ она составляет всего несколько тысяч градусов.

Во-вторых, при подводном взрыве ВВ ударная волна образуется при подходе детонационной волны к поверхности раздела «заряд-вода». В данный момент заканчивается выделение энергии, и интенсивность волны максимальна. В дальнейшем её интенсивность снижается с некоторым увеличением длины волны. Поэтому начальные параметры ударной волны определяются на поверхности заряда ВВ, то есть размерами самого ВВ [7].

При подводном электровзрыве считается, что ударная волна отделяется от границы канала разряда в конце первой четверти периода разряда, то есть в момент достижения максимального значения скорости выделения энергии в КЭР [3,5]. Во второй стадии разряда энергия в канале выделяется быстрее, чем затем передаётся окружающей среде. За время первого полупериода, когда ещё продолжается ввод энергии в канал, происходит передача энергии от движущейся стенки канала разряда к фронту ударной волны посредством малых возмущений, возникающих на поверхности канала, и которые, распространяясь в сжатой

среде, имеют большую скорость, чем ударная волна, и догоняют фронт УВ. Таким образом, при электровзрыве в жидкости, пока идёт разряд, происходит подпитка ударной волны слабыми возмущениями, поэтому, максимальная интенсивность ударных волн будет не на поверхности канала разряда, а на некотором расстоянии от него. С физической точки зрения момент достижения ударной волной максимальной интенсивности можно интерпретировать как окончание формирования ударной волны, так как в дальнейшем начинается затухание ударной волны.

В работах, посвящённых подводному электровзрыву, вопрос об определении времени, потребного для окончательного формирования УВ, к сожалению, остается открытым. Хотя в работе [5, с.19] и отмечается, что «максимум давления в ударной волне достигается на некотором расстоянии от КЭР», но положение p_{max} как функции от времени t или от расстояния ℓ оказывается неопределенным. Также отсутствует зависимость для определения скорости фронта ударной волны $N(t)$.

Мерой полезной работы, которая может быть произведена ударной волной при подводном электровзрыве, считается энергия положительной фазы волны давления [3]. При деформации разрушения в качестве силового критерия часто выбирают значение пикового давления на фронте импульса сжатия, некоторые авторы предлагают использовать комбинацию из двух параметров, значения пикового давления и величины импульса положительной фазы сжатия: $D=p_m \cdot I_+$, так как максимальный эффект от действия взрыва на объект обработки зависит не только от энергии в импульсе сжатия, но и от давления на фронте волны.

С учётом этого авторами для оценки энергетики ударных волн была предложена величина E – поверхностная плотность энергии [2,4], которая пропорциональна произведению давления на фронте ударной волны на её скорость, то есть

$$E = k\, p_m N, \qquad (1)$$

где для случая гомогенной и изотропной среды $k = 3/4$.

Используя данную зависимость, можно определить момент времени, при котором ударная волна достигнет максимальной интенсивности.

В качестве иллюстрации, а также проверки предлагаемой авторами методики определения момента достижения ударной волной максимальной интенсивности, был проведён численный расчёт для одного из контрольных режимов, проверенных экспериментально, со следующими параметрами: напряжение разрядного контура $U = 23$ *кВ*; емкость батареи конденсаторов $C = 4$ *мкФ*; индуктивность разрядного контура $L = 1.65$ *мкГн*; длина межэлектродного промежутка $\ell_p = 20$ мм. Время разряда определялось по экспериментальным данным: $t_p = 8.07$ мкс.

С учётом физики процесса были подобраны такие аппроксимирующие зависимости для давления $p(t)$ и скорости ударной волны $N(t)$, которые изначально предопределяют максимумы этих функций вблизи КЭР. Из числа наиболее приемлемых функций для $N(t)$ была выбрана зависимость:

$$N_V = c_o + (a + bt)\, t \exp(-t/t_p). \qquad (2)$$

Учитывая, что $N = d\ell / dt$, далее путем интегрирования (2) по времени находится зависимость $\ell_V = f(t)$:

$$\ell_V = c_o t + a[t_p^2 - (t+t_p)t_p \exp(-t/t_p)] + b\{2t_p^3 - [(t+t_p)^2 + t_p^2]t_p \exp(-t/t_p)\}, \qquad (3)$$

где c_0 – скорость звука в невозмущенной воде, согласно литературным источникам была принята равной 1480 м/с; a, b – эмпирические коэффициенты, определяемые из эксперимента методом наименьших квадратов. Для примера: $t_p = 0.00807$ мс, $a = 280$ м/мс^2, $b = 150 \cdot 10^3$ м/мс^3.

На рисунке представлены экспериментальные зависимости времени прихода УВ в определённую точку и скорости фронта УВ, а также для сравнения графики кривых из работы [1] для случая

$$\ell_I = A\, t\, (tht)^{-q}, \quad 0 < q < 1, \qquad (4)$$

где A и q – эмпирические коэффициенты. Не трудно видеть, что $N_I \to \infty$ при $t \to 0$ и $N_I < c_o$ при $t \to \infty$.

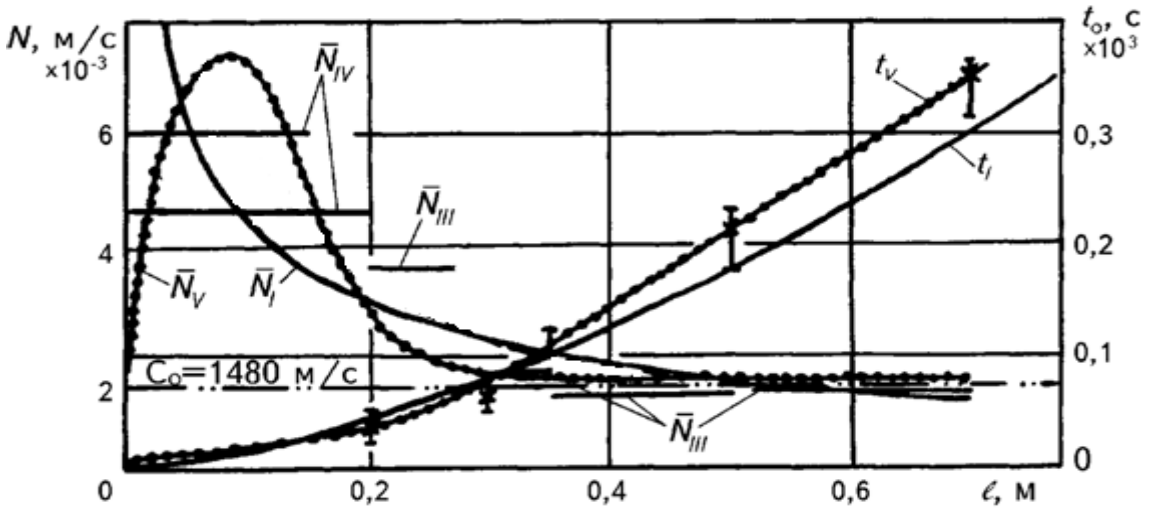


Рис. – Зависимости времени t прихода УВ в точку с координатой ℓ и скорости фронта N от координаты ℓ : x – среднее арифметическое значение t ; I – интервал разброса t; t_I – аппроксимация по (4), t_V – по (3).

Отклонения ℓ_V от среднеарифметических значений оказались меньше, чем у ℓ_I: среднее арифметическое – 1 % и среднеквадратичное – 3 %. Сопоставление среднеинтегральных значений $\overline{N}_V$ по участкам $\ell_{i+1} - \ell_i$ со средними скоростями $\overline{N}_{III} = (\ell_i - 0)/(t_i - 0)$ и $\overline{N}_{IV} = (\ell_{i+1} - \ell_i)/(t_{i+1} - t_i)$, найденными также из эксперимента, показали, что в зонах $\ell < 0{,}2$ м скорость N_V выше N_{III} на 20…25 %; при $\ell > 0{,}3$ м эти расхождения ± 1,5…3,0 %.

Аналогично проводим аппроксимацию для давления p :

$$p_V = c\,(t_p / t)^{q}\, N_V^{\,g}\,, \qquad (5)$$

где c, q, g – эмпирические коэффициенты (для нашего примера: c = 3.5; q = 0.2; g = 1.35).

По зависимости (1) находится время и положение ударной волны, когда поверхностная плотность энергии E на ней максимальна. Для рассматриваемого режима разряда E_{max} достигается при t = 12.6 мкс или на расстоянии ℓ = 54.1 мм от оси канала электрического разряда.

Использование методики [2] расчёта энергетических параметров ударной волны по заданным характеристикам разрядного контура U, C, L и ℓ_p позволит расширить возможности оптимизации разрядно-импульсных технологий на основе выбора режимов работы высоковольтной электрогидравлической установки, при которых для конкретной технологии обеспечивается требуемое пространственно-временное распределение воздействия на объект обработки.

Список литературы

1. *Ахметов М.Н., Ахметов Н.Д., Гимадеев М.М., Друлис В.Н. и др.* Экспериментальное определение скорости распространения волны давления при высоковольтном электрическом разряде в воде. // Проектирование и исследование технических систем: межвузовский научный сборник. Вып. № 4 (18). – Набережные Челны: Изд-во Кам. гос. инж.-экон. акад., 2011. С. 118–121.
2. *Ахметов Н.Д., Гимадеев М.М., Друлис В.Н. и др.* Расчёт энергетических параметров ударной волны при высоковольтном электрическом разряде в воде для переходной области. // Изв. вузов. Авиационная техника. 2011. № 1. С. 77–80.
3. *Гулый Г.А.* Научные основы разрядноимпульсных технологий. – Киев: Наук. думка, 1990. – 208 с.
4. *Друлис В.Н.* О связи поверхностной плотности энергии с давлением в волне возмущения, распространяющейся в реальной среде. // Проектирование и исследование технических систем: межвузовский научный сборник. Вып. 3. – Наб. Челны: Изд-во КамПИ, 2003. С. 2–38.
5. *Малюшевский П.П.* Основы разрядно-импульсной технологии. – Киев: Наук. думка, 1983. – 272 с.
6. *Наугольных К.А., Рой Н.А.* Электрические разряды в воде. М.: Наука, 1971. – 155 с.
7. *Яковлев Ю.С.* Гидродинамика взрыва. Л. : Судпромгиз, 1961. – 316 с.

05.13.01

Т.И. Балашова, М.А. Степаненко к.т.н., С.Н. Капранов к.т.н.,
В.И. Голованов, В.Ю. Грачев к.т.н.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
кафедра информатики и систем управления,
Н.Новгород, tibalashova@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ И ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

В работе решается задача построения оптимальной архитектуры информационной сети предприятия с помощью генетических алгоритмов. В качестве критерия оптимальности используется минимальное значение стоимости каналов передачи данных сети. Классифицированы параметры генетических алгоритмов, что позволяет повысить эффективность использования методов эволюционного моделирования.

Ключевые слова: *сеть, архитектура, информационные процессы, оптимизация, покрытие графа, генетический алгоритм.*

В настоящее время на предприятиях является актуальным решение задачи модернизации вычислительных комплексов с целью объединения информационных процессов, создания единого фундамента для архитектуры сети предприятия, обеспечивающего работу корпоративных приложений и сервисов, а также обеспечения экономической эффективности за счет интеграции разрозненных подсистем.

С точки зрения информационных процессов предприятие представляет собой сложную структуру, включающую целый ряд подсистем разного назначения, решающих технологические и административно-хозяйственные задачи в различных сферах своей деятельности. Низкая эффективность информационной сферы обусловлена тем, что каждая подсистема реализована в виде отдельной сети для реализации множества процессов передачи, хранения, обработки информации. Это связано с тем, что ввод новых функциональностей часто не встраивается в существующую архитектуру сетей по ряду причин: нехватка мощностей, конфликт оборудования и программного обеспечения и т.д. Очевидно, что такой подход снижает эффективность реализации информационных процессов на предприятии и увеличивает эксплуатационные расходы. Поэтому актуальна задача модернизации информационной подсистемы и достижение эффекта при едином консолидировании решения.

В общем случае под затратами на построение и модернизацию сети будем подразумевать стоимость сетевого оборудования и кабельной инфрастуктуры, стоимость монтажа и наладки, стоимость эксплуатации и обслуживания. Актуально учитывать затраты на заложенные возможности для расширения сети с целью развития предприятия. Исходя из вышесказанного, целевая функция зависит от следующих параметров:

$$L = f\left(net_dev, ch, set_debug, service, increase\right),$$

где net_dev, ch - стоимости сетевого оборудования и проложенных трасс, set_debug - стоимость монтажа и наладки, $service$ - стоимость обслуживания, $increase$ - стоимость возможного расширения сети.

В зависимости от требований предприятия к сети и имеющихся ограничений набор затратных параметров может меняться. Таким образом, при модернизации информационной системы предприятий, включающей замену устаревшего оборудования и введение новых функциональностей, актуальна задача построения архитектуры сети с учетом введения новых сервисов и возможности расширения сети [1].

Задачу построения оптимальной архитектуры единой сети предприятия сформулируем как объединение архитектур разрозненных подсистем с обеспечением реализации всего множества процессов. Стоимость приобретаемого оборудования зависит от многих факторов, определяется политикой предприятия и в данном случае учитываться не будет. В качестве целевой функции рассмотрим минимизацию затрат на реализацию каналов связи.

Введем следующие обозначения. Пусть имеется *k* различных подсистем $S^1, S^2, \ldots, S^k$, каждая их которых реализует подмножество производственных процессов. Обозначим p_i^j - это *i*-й процесс, $i = \overline{1, n_j}$, реализуемый в *j*-й подсистеме S^j, $j = \overline{1, k}$, где n_j - общее количество процессов в *j*-й подсистеме. Множество всех процессов, реализуемых в *j*-й подсистеме, обозначим $P^j = \left\{p_1^j, p_2^j, \ldots p_{nj}^j\right\}$.

Любая подсистема S^j характеризуется множеством реализуемых процессов и архитектурой информационной сети: $S^j = \left\{A^j, P^j\right\}$, где A^j- это архитектура *j*-й подсистемы, P^j- подмножество реализуемых в *j*-подсистеме процессов. В данном случае под архитектурой подсистемы будем понимать совокупность территориально закрепленного оборудования, включающего компьютеры, коммуникационные устройства (кабельные системы, повторители, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы, модульные концентраторы и т.д.). Под узлом подсистемы на практике понимается место концентрации кабелей или коммутации каналов, идущих от телекоммуникационных розеток. Таким образом, узел проектируемой сети может состоять из модулей подключения рабочих станций, территориально относящихся к данному узлу. Возможно размещение в узлах серверного оборудования отдельных подсистем.

В качестве модели архитектуры подсистемы S^j удобно использовать неориентированный граф без петель, построенный на *m* вершинах $V^j = \left\{v_1, \ldots, v_m\right\}$ и *l* ребрах $E^j = \left\{e_1, \ldots, e_l\right\}$, каждая вершина которого соответствует некоторому узлу подсистемы. Дуги графа представляют собой каналы передачи данных между узлами подсистемы. Таким образом, архитектура *j*-й подсистемы $A^j = \left\{V^j, E^j\right\}$ включает множество вершин V^j – узлов сети и множество дуг E^j – каналов передачи данных. Для неориентированной граф-модели обеспечена возможность передачи данных по каналам связи в обоих направлениях. В результате модернизации будет построена сеть с новой архитектурой $\tilde{A} = \left\{\tilde{V}, \tilde{E}\right\}$ на множестве имеющихся вершин графа, добавленных в соответствии с требованиями построения информационной системы новых узлов обработки информации $\left\{\tilde{V}\right\}$, при условии минимизации стоимости реализации каналов связи $\left\{\tilde{E}\right\}$.

Задача объединения всех локальных подсистем в единую информационную сеть будет решаться объединением в один узел обработки данных разрозненных модулей подключения рабочих станций, территориально относящихся к данному узлу, в том числе с учетом ввода нового оборудования для поддержки процессов, а также добавление новых узлов в соответствии с требованиями предприятия по расширению информационной системы. Необходимо найти оптимальное покрытие вершин графа ребрами таким образом, чтобы стоимость каналов передачи данных сети была минимальна при сохранении связности соответствующей граф-модели сети.

Математической моделью множества ребер, задающих топологию графа, будет являться весовая матрица смежности E^* размером $n \times n$, имеющая верхний правый треугольный вид, где элемент e_{ij}^* отличен от нуля, если вершины v_i и v_j соединены ребром e_{ij}^*.

Значение e_{ij}^{*} представляет собой стоимость реализации канала связи или расстояние между вершинами v_i и v_j. Тогда целевая функция имеет следующий вид:

$$L = \sum_{k=1}^{r} len(e_k) \to \min,$$ где *r*–число ребер.

Решение этой задачи возможно с использованием переборных методов для задач небольшой размерности. Иначе применяются методы эволюционного моделирования – генетические алгоритмы (ГА).

Закодируем решение в виде хромосомы, представляющей собой вектор вида $W = \{W_{(1,2)}, W_{(1,3)}, ..., W_{(1,n)}, W_{(2,3)}, W_{(2,4)}, .., W_{(2,n)}, ..., W_{(n-1,n)}\}$, содержащий ненулевые элементы в битах, соответствующих дугам графа, образующим допустимое решение задачи. Критерий допустимости решений при работе ГА – связность графа G, представляющего архитектуру сети. При этом длина *N* хромосомы определяется исходя из максимального количества однократных дуг, содержащихся в полном графе с *n* вершинами по следующей формуле:

$$N = C(n,2) = \frac{n!}{(n-2)!2!} = \frac{n(n-1)}{2} = \frac{n^2 - n}{2}$$

При этом хромосома с минимально допустимым числом ненулевых элементов $N = (n-1)$ соответствует графу с линейной структурой. Таким образом, оптимальное решение будет содержаться в хромосоме с количеством ненулевых элементов в пределах: $(n-1) \le N \le \frac{n^2 - n}{2}$. Целевая функция при таком кодировании решения принимает следующий вид:

$$L = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=i+1}^{n} W_{ij} \to \min$$

В результате проведенного моделирования выполнена настройка операторов ГА в зависимости от значения коэффициента достижимости [2]. Выполненный анализ поведения ГА при обработке генерируемых графов с различной топологией выявил ряд закономерностей в настройке операторов в зависимости от значения коэффициента достижимости. При этом параметры ГА разделились на две группы - влияющие на сходимость решения и влияющие на количество вычислений целевой функции. К первой группе параметров относятся вероятность выбора генетического оператора, параметры кроссовера, вероятности и виды мутаций, а также выбор схемы отбора в следующее поколение. Вторая группа параметров включает мощность популяции, максимальное число поколений при работе генетического алгоритма и число генерируемых решений на каждой итерации. При этом неправильный выбор параметров первой группы увеличивает количественные характеристики параметров второй группы, а низкое значение параметров второй группы ведет к уменьшению эффективности настроек параметров первой группы.

Список литературы

1. *Семашко А.В., Балашова Т.И., Кирсанычев А.Н. и др.* Задача оптимизации структуры магистральной корпоративной сети //Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2010., – Т.8., – №2., – С.65-68.

2. *Соколова Э.С., Капранов С.Н., Дмитриев Д.В.* Адаптация генетических алгоритмов к решению задач назначения точек контроля в объектах с большим числом состояний // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2007., – №11., – С.54-68.

05.23.01

Л.В. Безбородов к.т.н., М.В. Козлов

ФГБОУ ВПО «Московский Государственный Строительный Университет» НИУ,
г. Москва, mih8891@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ТЕНТОВЫМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ В РОССИИ

Статья посвящена актуальному вопросу применения тентовых ограждающих конструкций для сооружений спортивного назначения: малобюджетных, быстровозводимых, легко трансформирующихся в соответствии с изменением функции и т.д. В статье показана целесообразность и эффективность применения данного типа сооружений. Статья является частью диссертационного исследования, в которой сформулированы и поставлены задачи для дальнейшего исследования.

Ключевые слова: *спортивные сооружения, тентовые конструкции.*

Современные социально-экономические потребности диктуют новые требования практически во всех сферах жизнедеятельности общества. Строительный комплекс не составляет исключения. Тесно связанное с ним проектирование обязано реагировать на новые реалии жизни для того, чтобы быть востребованным. Сложившиеся условия заставляют архитекторов искать новые подходы, в том числе и при проектировании современных спортивных объектов. [3]

В начале 21 века во всем мире спорт, общество и архитектура спортивных сооружений оказываются перед необходимостью глубокого переосмысления своих границ, целей и инструментов. Это в целом формирует новую картину мира, архитектуры и связей между ними. [1]

Спорт – это неотъемлемая часть жизни практически любого человека. Спорт определяет мир, в котором человек развивает самого себя. Спроецировать этот мир можно через спортивные сооружения (стадионы, дворцы спорта, комплексы и т.д.). [1]

Разнообразию видов спорта разносторонни и требования, предъявляемые к различным спортивным сооружениям и площадкам.

Первое воздухоопорное сооружение (ВОС) было построено в СССР в 1959 г. С 1960 г. началось их массовое производство. Уже в 1967 г. воздухоопорным сооружением был перекрыт плавательный бассейн в г. Монино Московской области. А к 1972 г. в СССР серийно выпуска лось до 300 комплектов ВОС в год общей площадью около 175 000 м^2, в том числе и для спортивных целей. Первое мембранное сооружение, отвечающее современным требованиям, было построено в СССР в 1985 г. в военном санатории «Аврора» г. Хоста Краснодарского края и использовалось как навес для теннисного корта. В 1991 г. было построено каркасно-тентовое сооружение размером 43 х 44 м для укрытия двух теннисных кортов. [3] Приведем примеры некоторых более поздних спортивных сооружений возведенных с тентовыми ограждающими конструкциями в построенных различных регионах нашей страны (рис 1, рис. 2):

Рис.1 Теннисный корт, Анапа (2005) [3]

Рис.2 Воздухоопорное сооружение катка, Набережные Челны (2007) [3]

Однако, у нас в стране применение тентовых конструкций сдерживалось из-за не соответствия отечественных тентовых материалов высоким требованиям, предъявляемым данным типам сооружений, таким как разнообразие цветовой гаммы, светостойкости, прочности и долговечности. [5]

Многие заметные сооружения мирового значения в начале нового тысячелетия построены именно с применением тентовых структур. В последние годы в строй вошли небывалые до того даже по физическим размерам тентовые сооружения ведущих архитекторов, такие как олимпийский футбольный стадион в Сиднее со светопрозрачным тентовым покрытием амфитеатра (Рис.3), крупнейший в мире Ботанический сад «Эдем» со 120-метровым пролетом длиной около 1 км и высотой 60 м в Корнуолле, «парящий» купол Центра SONY в Берлине, амбициозный зал «Купол Тысячелетия» в Лондоне (площадь 80 000 м2) и др. [4]

Рис.3 Олимпийский футбольный стадион в Сиднее со светопрозрачным тентовым покрытием амфитеатра

Тентовые сооружения обладают и иными признаками - например, совпадающими сроками морального износа сооружения и физического старения материала.

Тентовые покрытия, как одно из современных направлений поиска новой, нелинейной формы крыши, каждый раз создают соответственно новые пространственные - как внутренние, так и внешние - характеристики архитектурного объекта.

Ю.А. Никифоров и С.А. Белоносов, исследуя современные тенденции многофункциональных спортивных комплексов, отмечают, что «ближайшее будущее спортивных сооружений связано с внедрением новых технологий и новых конструктивных систем, часто применяющихся в других странах, но нуждающихся в серьезной адаптации к отечественным климатическим условиям строительства и эксплуатации. Речь идет, прежде всего, о тентовых и пневматических оболочках, сборных или быстровозводимых металлоконструкциях, блочных комплектах инженерно-технологического оборудования для катков и бассейнов» [2]

На основе вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в России есть потенциальные возможности применения тентовых структур при проектировании объектов спортивного назначения - быстровозводимых, мобильных, легко трансформирующихся в соответствии с изменением функции и обладающих высокими эстетическими достоинствами. И вместе с тем относительно недорогих, а значит - более востребованных.

Основные выводы.

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. В России есть потенциальные возможности применения тентовых структур при проектировании объектов спортивного назначения - быстровозводимых, мобильных, легко трансформирующихся в соответствии с изменением функции и обладающих высокими эстетическими достоинствами. И вместе с тем относительно недорогих, а значит - более востребованных.

2. Тентовые конструкции обладают рядом преимуществ:

- быстрота возведения;
- легкость;
- мобильность;
- относительная дешевизна;
- высокие эстетические достоинства.

3. Легко трансформируются в соответствии с изменением функций.

4. Применение тентовых конструкций целесообразно в случае, когда с максимальной отдачей требуются их специфические особенности (светопрозрачность, легкость и другие физико-технические свойства).

5. Физический износ материала примерно равен моральному износу.

6. На сегодняшний день в тентовой архитектуре существует множество нерешенных проблем:

- особенность формообразования и геометрия тентовых конструкций покрытия;
- физико-технические аспекты проектирования тентовых оболочек;
- создание инструментов интерактивного моделирования исходной геометрии тентовых оболочек;
- выбор оптимальных материалов.

Тентовая архитектура позволяет отечественным проектировщикам в достаточной мере свободно экспериментировать с формой и предоставляет возможность найти свой путь в мировом архитектурном процессе.

Список литературы

1. *Александрович Б.С.* «Архитектурное формирование перспективных многофункциональных спортивных комплексов»
2. *Никифоров Ю.А., Белоносов С.А.,* Современные тенденции в развитии функционально-пространственной структуры спортивных комплексов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН, Екатеринбург, 2009. №2 С. 60.
3. *Скопенко В.А.* «Тентовая архитектура «спортивные» возможности» АКАДЕМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН №2, 2010г.
4. *Скопенко В.А.* «Тентовая архитектура: вчера, сегодня, завтра» АКАДЕМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН №2, 2010г.
5. *Хайрулин А.А.* «Легкие тентовые конструкции в организации городской среды». дизайн-ревю М. 1999, №2
6. *Хусаинов С.* Экономия заложена в проекте // Строительство и эксплуатация спортивных сооружений 2010 №2 с. 52

05.13.01

А.Б. Белиц

Вятский государственный университет,
факультет прикладной математики и телекоммуникаций,
кафедра прикладной математики и информатики,
Киров, belkaw@gmail.com

ИСКУССТВЕННЫЕ ИММУННЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ОБУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЗВЕШЕННЫХ В-КЛЕТОК

Работа содержит описание модифицированного алгоритма обучения динамической взвешенной В-клетки, а также принципы построения искусственной иммунной сети на его основе, и её использование для поиска повреждений на фотоснимках костей.

Ключевые слова: *искусственные иммунные сети, динамическая взвешенная В-клетка, древовидные клетки.*

Биологическая иммунная система представляет интерес как система, способная обрабатывать значительный объем данных, а также выполнять большое количество сложных высокопараллельных распределенных вычислений.

Другие важные характеристики иммунной системы — адаптируемость, специфичность, самотолерантность, дифференцировка и другие. Все эти свойства имеют отношение к обработке информации и создают ряд интересных возможностей с точки зрения моделирования.

Искусственные иммунные сети часто используют в задачах распознавания образов и анализа данных. В подобных задачах часто приходится оперировать большими объемами данных, что значительно увеличивает время работы применяемых алгоритмов. Теория иммунной сети из динамических взвешенных В-клеток [2] появилась с целью сокращения числа обрабатываемых объектов, а также сокращения рассматриваемого множества с использованием идеи кластеризации данных[4].

Однако данная система имеет несколько недостатков, основной из них - это реакция на данные, обработка которых в рамках данной задачи не должна иметь место, например, муар на цветных изображениях. Определение инородности некоторых данных и их исключение из рассматриваемого множества - основная цель рассматриваемой системы. Учитывая описанный недостаток, был создан модифицированный алгоритм динамического обучения.

В модели искусственной иммунной сети популяция В-клеток порождает две подпопуляции: исходная популяция и ее точная копия. Исходный набор для создания В-клеточной сети получается из подмножества опытных данных. Антигены случайным образом выбираются из опытного набора и помещаются в область В-клеточной сети. Если связывание антигена прошло успешно, то В-клетка подвергается клонированию и мутации. Мутация порождает другой набор антител, отличный от того, который был при процедуре классификации. После создания новой В-клетки делается попытка интегрировать ее в сеть В-клеток; если новая клетка не может быть интегрирована, то она исключается из популяции. Если связывание прошло не успешно, то В-клетка создается с использованием антигена как шаблона и после этого добавляется в сеть.

На основе теории иммунной сети Эрне[1], Хант и Кук создали собственную модель, исследуя применимость законов иммунных систем к машинному обучению. Система состояла из сети В-клеток, используемой для создания последовательностей антител. Ресурсная ограниченность модели искусственной иммунной сети[3] потребовала ее усовершенствования для более обобщенного анализа данных. Она состояла из ряда ARB (Artificial Recognition Balls), каждый из которых состоял из нескольких идентичных

В-клеток, набора данных для обучения антигена, связей между ARB и клонирующих операций. Каждый ARB представляет собой элемент данных в пространстве размерности n, который может быть найден с учетом Евклидового расстояния до антигена или другой ARB в сети. Связь создается, если расстояние между двумя ARB не превышает порогового параметра близости сети NAT (Network Affinity Threshold), определенного как среднее расстояние между всеми элементами данных в обучающем наборе.

Во всех существующих моделях искусственных иммунных сетей число ARB может легко достичь того же самого размера, что и обучающие данные, и даже превысить его. Следовательно, хранение и обработка связей сети между всеми парами ARB делают этот подход неприемлемым. Необходимо уменьшить объем хранимых данных и вычислительные требования, связанные со структурой сети. Модифицированный алгоритм динамического обучения позволяет решить данную проблему.

Основными особенностями описанного алгоритма можно считать:

- динамическая взвешенная В-клетка (DWB-клетка) определяет зону влияния на область обучающего набора данных. Количественно зона влияния определена в терминах функции веса, которая уменьшается не только с расстоянием от местоположения антигена/данных до опытного образца DWB-клетки.
- пункты данных, выпадающие далеко от зоны влияния, рассматриваются как выбросы. Весовая функция убывает экспоненциально с порядком представления входного пункта данных, и, таким образом, в процессе обучения учитывается актуальность данных;
- каждая группа DWB-клеток должна иметь свой собственный коэффициент возбуждения, который уменьшается с возрастом подсети; таким образом, группа внутристимулируемых DWB-клеток может поддерживать свое нахождение в иммунной сети даже после того, как антиген, который вызвал ее создание, исчезает из окружающей среды;
- включение динамического фактора подавления в вычислении уровня возбуждения DWB-клеток является оптимальным способом принять во внимание внутренние взаимодействия. Фактор подавления предназначен для управления быстрым увеличением и избыточностью популяции DWB-клеток;
- каждая группа DWB-клеток имеет индивидуальный вектор реагирования на признаки различных антигенов, таким образом, иммунная сеть определяет принадлежность данных к рассматриваемому множеству либо определяет их в качестве изъянов данных;
- иммунная сеть сжата в группы DWB-клеток при использовании линейного по сложности подхода, такого как K-метод, она разделена на несколько подсетей, которые формируют уменьшенное представление всей сети. Это стратегия оказывает существенное влияние на число взаимодействий, которое должно быть обработано в иммунной сети;
- DWB-клетки клонируются (то есть дублируются вместе со всеми своими свойствами, такими как значения масштабного коэффициента) пропорционально их уровню возбуждения относительно среднего возбуждения в иммунной сети;
- дублирование антигена – упрощенная модель поведения специального класса клеток, называемых дендритными клетками, главная цель которых состоит в том, чтобы обучать другие иммунные клетки (В-клетки) признавать новые антигены.

Рассмотренная иммунная сеть была применена для поиска инородных повреждений на фотоснимках костей. Алгоритм применения следующий:

- на первом этапе, все изображение разбивается на маленькие, например, 3 х 3 пиксельные блоки; для каждого из них считаем «коэффициент похожести», т.е. численную величину, которая характеризует цветовое сходство пикселей между собой. В случае превышения этого коэффициента некоторой величины, этот блок считается антигеном.
- второй этап, состоит из реакции организма на сформированный набор антигенов, таким образом, будет получен набор DWB-клеток, позволяющих организму выстроить защиту от антигенов.
- заключительный этап, основывается на том, что количество антигенов будет выше, на участках, где след от повреждений меняет свое направление. Следовательно, DWB-клетка

тоже будет расположена ближе к этим участкам. В итоге, построение контура повреждения, состоит из построения оболочки по полученным DWB-клеткам.

Список литературы

1. *Jerne K.* Towards a network theory of the immune system /K. Jerne// Ann. Immunol., Inst. Pasteur -1974.-125C. -P.373–389.
2. *Nasraoui O.* A scalable artificial immune system model for dynamic unsupervised learning // GECCO'03 Proceedings of the 2003 international conference on Genetic and evolutionary computation: PartI. P.219-230.
3. *Timmis J.* A resource limited artificial immune system for data analysis / J. Timmis, M. Neal// Knowledge Based Systems/ -2001.-V. 14. -N. 3. -P. 121–130
4. *Белиц А.Б., Шутова Е.Н.* Масштабируемая модель искусственной иммунной системы для обучения на основе динамических данных / А.Б. Белиц, Е.Н. Шутова // Технологии Microsoft в теории и практике программирования. Материалы конференции / Под ред. проф. В.П. Гергеля. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2010. – с. 25-26

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.1641.

05.23.05

П.В. Борков к.т.н., А.Д. Корнеев д.т.н., П.В. Комаров к.т.н., А.Б. Бондарев к.т.н.

Липецкий государственный технический университет,
инженерно-строительный факультет, кафедра строительных материалов,
Липецк, borkovpv@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ

В работе представлены результаты исследования циклической долговечности композиционных материалов на основе полиэфирной смолы при различных значениях структурообразующих факторов.

Ключевые слова: *долговечность, удельная поверхность, наполнитель, полимербетон, коэффициент выносливости.*

К структурообразующим факторам относятся факторы, которые определяют внутреннее строение материала. Это прежде всего содержание синтетической смолы, представляющая собой соотношение объемов смолы и наполнителя. От этого соотношения зависит не только структура полимерного связующего (микроструктура полимерного композиционного материала), но также технология и все физико-механические свойства.

Этот фактор определяется как отношение полимера к наполнителю, то есть отношение по массе эпоксидной смолы к наполнителю. Отношение полимер-наполнитель (П/Н) характеризует микроструктуру эпоксидных полимербетонов и определяется зависимостью [2, 5]:

$$\frac{П}{Н} = \frac{\rho_п}{\rho_н^0} \cdot \frac{П_н + m_н \cdot \rho_н \cdot \delta}{1 + m_н \cdot \rho_н \cdot \delta},$$

где $\rho_п$ – плотность смолы; $\rho_н$ и $\rho_н^o$ – плотность наполнителя и плотность наполнителя в виброуплотненном состоянии, соответственно; $m_н$ – масса единицы объема наполнителя; δ – толщина межфазного слоя.

Величина П/Н зависит не только от вида, количества полимера в смеси, но и от вида и количества наполнителя. Повышение удельной поверхности наполнителей обеспечивает упрочнение полимерного композита в результате развития контактной зоны смола-наполнитель. В интервале значений удельной поверхности наполнителей от 0,1 до 10 $м^2/г$ средняя пористость увеличивается в четыре раза. Средние размеры пор при удельной поверхности наполнителя $1м^2/г$ составляют 10...20 мкм, максимальные – до 100 мкм.

От плотности наполнителей зависит плотность и пористость полимерного композиционного материала. В зависимости от минералогического состава наполнителя она находится в пределах от 2,2 до 3,3 $г/см^3$. При этом каждое зерно наполнителя считается также абсолютно плотным.

Вторым структурообразующим фактором на уровне макроструктуры полимерного композиционного материала является толщина полимерсвязующего слоя δ_o, соотношение полимерного связующего и заполнителей определяется из соотношения:

$$\delta_0 = \frac{V_{пс} - П_{см}}{F_{см} \cdot (1 - П_{см})},$$

где $V_{пс}$ – объем полимерной смеси; $F_{см}$ – площадь минеральной смеси; $П_{см}$ – пустотность минеральной смеси.

Размеры полимеросвязующего слоя, обволакивающего зерна заполнителей, зависят от массы зерен заполнителей и их размеров. С увеличением средней толщины полимеросвязующего слоя полимерная смесь становится более подвижной

(удобоукладываемой), а в процессе формирования происходит сближение зерен заполнителей и достигается хорошее заполнение межзернового пространства полимерным связующим.

Третьим фактором, который регулирует удобоукладываемость полимерных смесей, является коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя (α). Он определяет оптимальное содержание песка (мелкого заполнителя) в общей смеси заполнителей.

Коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя характеризует структуру минеральной смеси эпоксидного композиционного материала и может быть определен из следующего соотношения:

$$\alpha = \frac{V_п \cdot (1 - П_н) + П_{см}}{V_щ \cdot П_щ}$$

где $V_п$, $V_щ$ – объем песка и щебня; $П_н$, $П_щ$ – пустотность песка и щебня; $П_{см}$ – пустотность минеральной смеси песка и щебня.

Коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя существенным образом влияет на процессы перемешивания и уплотнения полимерных композиционных материалов. При малой величине раздвижки зерен α = 1,1, когда растворная часть композита заполняет только межзерновое пространство смеси, смеси перемешиваются и уплотняются плохо. По мере увеличения коэффициента раздвижки увеличивается зазор между зернами крупного заполнителя. Это вызывает резкое увеличение подвижности полимерной смеси из-за повышенного содержания песка.

Как было установлено ранее [3], наиболее существенным фактором, влияющим на циклическую долговечность ПКМ является соотношение полимер-наполнитель (П/Н). Для изучения влияния этого структурообразующего фактора на циклическую долговечность полиэфирного полимербетона ПН-609-21М были проведены экспериментальные исследования его выносливости. Методика проведения испытаний была принята стандартной [4]. Размеры образцов 40×40×160мм. Значения (П/Н) варьировались от 0,6 до 0,9 по аналогии со статическими испытаниями [6]. Коэффициент асимметрии цикла приложения нагрузки был принят ρ=0,1 – соответствующий самому жесткому режиму эксплуатации элементов конструкций из ПКМ.

Обработка результатов экспериментальных работ проводилась по методике Н.С. Карпухина [1], методом прямолинейной корреляции и строились линии выносливости в координатах «σ_{max} – lgN», а на базе $2 \cdot 10^6$ циклов определялся предел и коэффициенты выносливости.

Точность построения линии выносливости зависит от объема испытаний n, который находят, задаваясь максимальной ошибкой в определении предела выносливости Δ, и доверительной вероятности

P=1-Δ. Тогда:

$$n = kZ_{1-\alpha/2} \cdot \frac{\gamma^2}{\Delta^2}$$

где $Z_{1-\alpha/2}$ – квантиль нормированного нормального распределения; Δ – относительная максимальная ошибка в определении предела выносливости; γ – коэффициент вариации предела выносливости; k – коэффициент, значение которого определяется числом параметров уравнения.

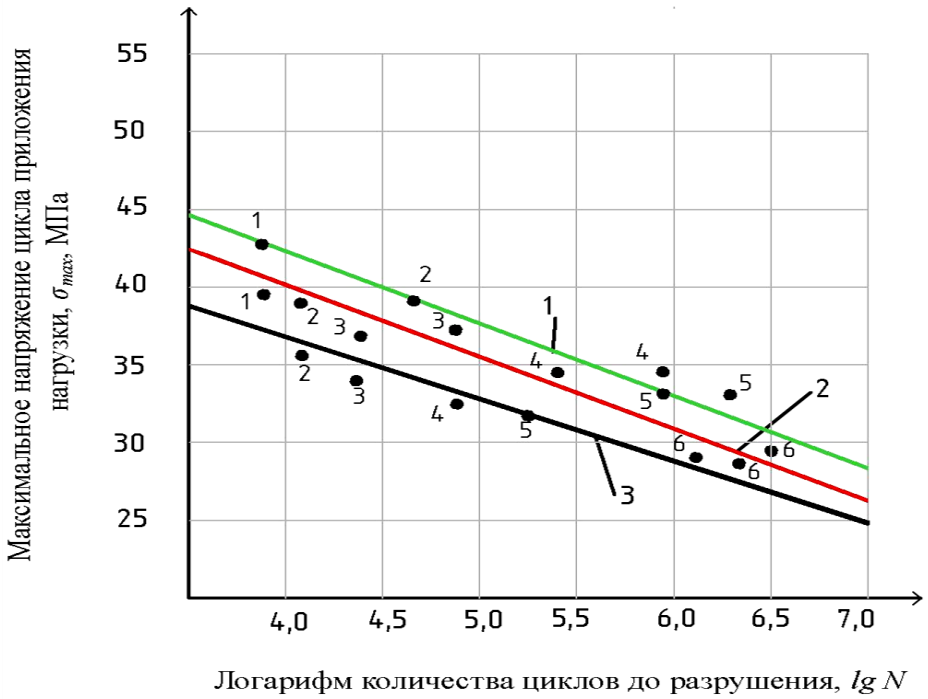


Рис. 1– Линии выносливости полиэфирного полимербетона ПН-609-21М при ρ = 0,1: 1 – П/Н=0,75; 2 – П/Н=0,90; 3 – П/Н=0,6

За критерий циклической долговечности принят коэффициент выносливости:

$$К_{в,pul} = \frac{R_{в,pul}}{R_в},$$

где $R_{в,pul}$ – предел выносливости полимербетона; $R_в$ – предел прочности полимербетона при сжатии.

Физический смысл $К_{в,pul}$ заключается в том, что он показывает долю сохранившейся прочности или несущей способности после воздействия циклической нагрузки для принятой базы испытаний. На рис. 1 приведены результаты экспериментов графики линий выносливости, выполненные для соотношений П/Н-0,6; 0,75; 0,9.

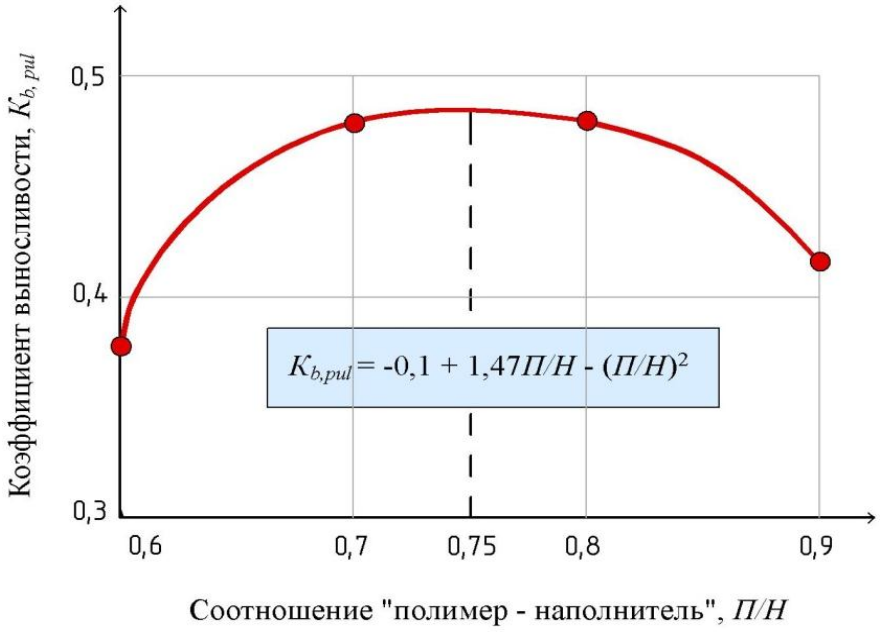


Рис. 2– Зависимость отношения П/Н от коэффициента выносливости полиэфирного полимербетона ПН-609-21М

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что циклическая долговечность полиэфирного полимербетона ПН-609-21М изменяется по аналогии с пределом прочности и возрастает с увеличением П/Н, достигает своего максимума, а затем снижается. На рис. 2 приведен график изменения П/Н. Величина П/Н при котором предел выносливости достигает своего максимума меняется в пределах от 0,6 до 0,75. Дальнейшее увеличение П/Н приводит к интенсивному расслоению полимербетонных смесей, и ведет к потере прочностных свойств при циклических нагружениях, а, следовательно, к уменьшению циклической долговечности.

Список литературы

1. *Карпухин Н.С.* Исследование выносливости железобетона // Строительные конструкции : тр. МИИТ(а). М. : МИИТ, 1959. Вып. 108. С. 44-54.
2. *Корнеев А.Д.* Эпоксидные полимербетоны / А.Д. Корнеев, Ю.Б. Потапов, В.И. Соломатов – Липецк, ЛГТУ, 2001 – 181с.
3. *Комаров П.В.* Эпоксидный полимербетон и его циклическая долговечность : автореф. дис. … канд. техн. наук. Волгоград, 2003. 26 с.
4. Рекомендации по методам испытаний полимербетонов / НИИЖБ Госстрой СССР. М., 1986. 20 с.
5. *Соломатов В.И.* Эффективные композиционные строительные материалы и конструкции / В.И. Соломатов, Ю.Б. Потапов. – Ашхабад: ЫЛым, 1991. – 267 с.
6. *Соломатов В.И.* Технология полимербетонных и армополимербетонных изделий. М. : Стройиздат, 1984. 150 с.

05.13.06

С.В. Бочкарев д.т.н., Д.К. Елтышев

ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
г. Пермь, eltyshev@msa.pstu.ru

МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассматриваются вопросы поддержки принятия качественных решений в процессе ремонтной деятельности применительно к высоковольтному электротехническому оборудованию. Формализованы основные этапы получения точечных оценок, определяющих последовательность вывода в ремонт отдельных единиц оборудования на основе комплексных критериев количественного и качественного характера, в том числе в условиях неопределенности и нечеткости их значений.

Ключевые слова: *высоковольтное электротехническое оборудование, критерии оценки приоритета, коэффициенты относительной важности.*

Введение

Особенности эксплуатации и ответственность функционирования высоковольтного электротехнического оборудования (ВЭО) определяют потребность в принятии оптимальных решений (ПР) при выводе отдельных электротехнических устройств на ремонтное обслуживание с целью повышения эксплуатационной надежности и минимизации нерациональных расходов, связанных с простоем оборудования и перебоем поставок энергоносителя [4,5]. Наряду с концептуальными задачами эксплуатации ВЭО по фактическому техническому состоянию (ТС) [3,4,5], связанными в первую очередь с реализацией мероприятий по периодическому или непрерывному контролю его ключевых технических параметров, особое значение приобретают методы многофакторного анализа и выбора из совокупности альтернатив наиболее приоритетных вариантов (экземпляров ВЭО) формирования ремонтных воздействий. Это позволит ранжировать парк ВЭО по уровню приоритета и более рационально подойти к вопросам эффективного планирования и организации системы ремонтов оборудования и стратегии его эксплуатации в целом.

Постановка задач и выбор методов исследования

Рассмотрим поэтапно основные аспекты построения методики ПР в контексте ремонтного обслуживания ВЭО. Среди ключевых задач этого направления обозначим: 1) формализацию системы оценочных факторов (критериев); 2) проработку принципов формирования оценок эффективности альтернатив на основе выбранной структуры критериев.

С учетом значимой роли ВЭО в непрерывном процессе производства, передачи и потребления электрической энергии, следует отметить важность оперативного ПР на базе любой доступной для этого информации, даже в условиях ее неполноты и нечеткости, связанных как с неопределенностью данных о значениях критериев оценки, так и с неопределенностью оценок эффективности альтернатив по каждому из критериев. Для осуществления такой возможности предлагается использовать принципы теории нечетких множеств и нечеткой логики [1,2].

Формализация структуры критериев оценки приоритета

Специфика функционирования ВЭО заключается в том, что уровень его работоспособности, как техническая характеристика, непосредственно влияет на возможный ущерб, связанный в частности с недоотпуском электрической энергии потребителю [4,5]. Поэтому комплексная оценка приоритета ВЭО должна учитывать разносторонние аспекты его эксплуатации.

На рис. 1 отражены принципы формирования комплексных критериев оценки приоритета (КОП) ВЭО: K_1^1 – «Уровень ТС ВЭО»; K_1^2 – «Уровень технологической значимости ВЭО»; K_2^1 – «Условия эксплуатации ВЭО»; K_1 – «Степень риска по фактическим оценкам ТС ВЭО»; K_2 – «Остаточный ресурс»; K_3 – «Степень риска потери работоспособности (аналог характеристик надежности)»; K_4 – «Температурные условия эксплуатации»; K_5 – «Относительная влажность среды эксплуатации»; K_6 – «Степень влияния случайных факторов»; K_7 – «Уровень опасности среды эксплуатации»; K_8 – «Возможный ущерб от потери работоспособности»; K_9 – «Интенсивность эксплуатации»; K_{10} – «Затраты на восстановление».

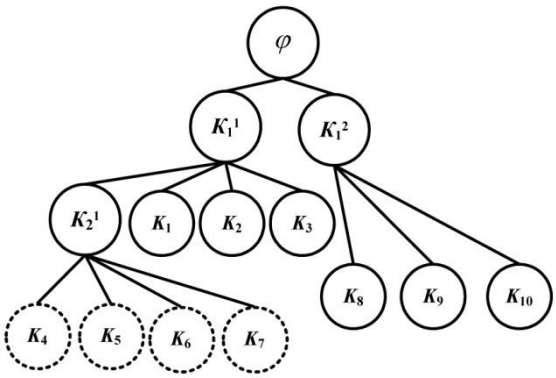


Рис. 1 – Иерархия КОП применительно к эксплуатации ВЭО

Информация по оценочным критериям может быть сформирована на базе нормативно-технической и эксплуатационной документации (включая паспорта на оборудование), формуляров и отчетов по мониторингу/испытаниям ВЭО, экспертной информации, аккумулирующей опыт специалистов в области эксплуатации и ремонта ВЭО и т.д.

Оценка альтернатив по КОП, формирование итоговых значений приоритета

В качестве альтернатив (или объектов исследования) $W = (w_1, w_2, ..., w_M)$ рассматриваются возможности вывода на профилактический ремонт *j*-й единицы ВЭО или группы ВЭО. Оценка приоритета осуществляется на базе:

1) формализации каждого из КОП в лингвистическом смысле [1,2] в виде нечеткого терм-множества K_q={C_{q1}, C_{q2}, …, C_{qt}}, $q = \overline{1,N}$ (количество критериев) с ограничениями $[\underline{K_q}, \overline{K_q}]$ и трапециевидными функциями принадлежности (ФП) $\mu_{C_{ql}}(K_q) \to [0,1]$, $l = \overline{1,t}$, параметры которых для каждого КОП формируются индивидуально;

2) введения дополнительной лингвистической переменной «Эффективность альтернативы по критерию» с терм-множеством E={E_1, E_2, …, E_t}, мощность которого совпадает с мощностью терм-множества C_q и ФП $\mu_{E_k}(y): Y \to [0,1]$, $k = \overline{1,t}$ в виде треугольных нечетких множеств (Y – базовое множество переменной E, k – номер оценочного терма).

Точечная оценка $y_q^{\,j}$ эффективности альтернатив по *q*-му КОП осуществляется на базе процедуры нечеткого логического вывода Мамдани [2] по совокупности правил вида:

$$\text{ЕСЛИ } K_q \text{ есть } C_{ql} \text{ ТО } y \text{ есть } E_k \ (q = \overline{1,N}, l = \overline{1,t}), \quad (1)$$

где $k = l$ при прямой связи переменных (чем меньше величина, тем лучше), k=t-l+1 – при обратной (чем больше величина, тем лучше).

Числовые оценки эффективности формируются в процессе обработки правил (1) при помощи операторов импликации, агрегирования, и процедуры дефаззификации по методу центра тяжести [1,2].

Преобразование субиерархий критериев (например, K_2^1, K_4, K_5, K_6, K_7 для рис. 1) осуществляется по принципу:

$$y_p^j = f(y_{p,1}^j, \alpha_{p,1}, \ y_{p,2}^j, \alpha_{p,2}, \ldots, y_{p,n_p}^j, \alpha_{p,n_p}), \ p = \overline{1,r}, \quad (2)$$

где $y_{p,g}{}^{j}$ $g=\overline{1,n_p}$ – оценка *j*-й альтернативы по *g*-му частному критерию *p*-й субиерархии; y_p^j – оценка *j*-й альтернативы по обобщающему критерию *p*-й субиерархии; n_p – количество частных критериев в *p*-й субиерархии; $\alpha_{p,g}$ – коэффициент относительной важности (КОВ) *g*-го частного критерия, входящего в состав *p*-й субиерархии; *f* – оператор агрегирования, выбираемый в соответствии с таблицей.

Таблица – Принципы агрегирования неравнозначных частных критериев

№ п/п	Название принципа агрегирования	Аналитическое выражение
1	Аддитивная свертка	$K_p=\sum_{g=1}^{n_p}K_{p,g}\alpha_{p,g}$
2	Мультипликативная свертка	$K_p=\prod_{g=1}^{n_p}(K_{p,g})^{\alpha_{p,g}}$
3	Свертка по принципу *min*-критерия	$K_p=\min_{g=1}^{n_p}(K_{p,g})^{\alpha_{p,g}}$

Для нахождения КОВ критериев по сформированным экспертами матрицам парных сравнений (МПС) [6] предлагается методика синтеза оптимальных коэффициентов относительной важности (МСКВ) в целях повышения согласованности суждений экспертов и, как следствие, качества ПР на базе совокупности методов оценки важности (МОВ) $M=\{M_1,M_2,\ldots,M_z\}$ и векторного критерия эффективности *EST*:

$$EST=\begin{pmatrix}CR\\MV\\ED\end{pmatrix}\to\min, \tag{3}$$

где $CR=\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}a_{ij}\alpha_j-n\right]/(n-1)\cdot IR$ – отношение согласованности [6]; *IR* – расчетный индекс согласованности случайно сгенерированной МПС размерности $n\times n$; $MV=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}I_{ij}$ – нарушение соотношения между значениями элементов МПС и вектора КОВ [9]; $ED=\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}\alpha_j-\alpha_i)^2\right]^{1/2}$ – евклидово расстояние [9]; a_{ij}, $i,j=\overline{1,n}$ – элемент МПС, расположенный на пересечении *i*-й строки и *j*-го столбца; α_i – КОВ *i*-го частного критерия.

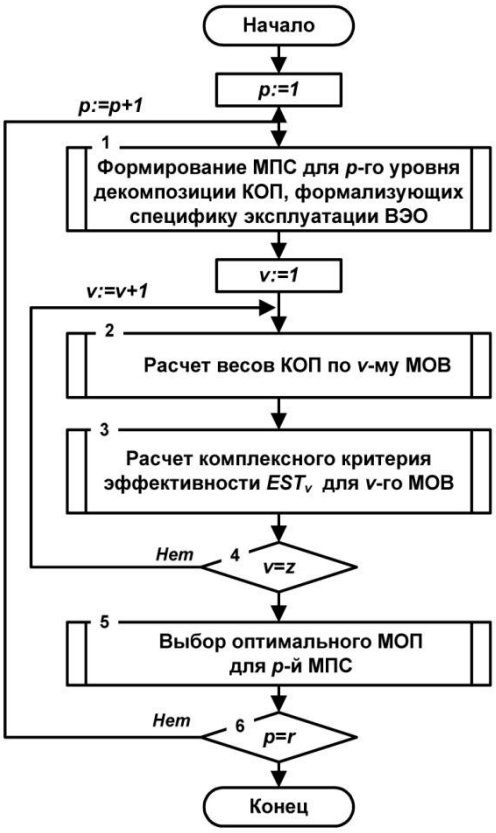


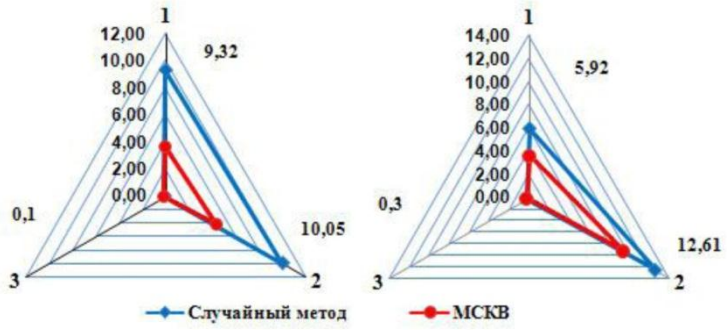
Рис. 3 – Алгоритм синтеза КОВ для КОП в задаче ПР при ремонте ВЭО

Процедура экспериментальных исследований и выбора компонент МСКВ для конкретной формализованной задачи оценки приоритета представлена на рис. 2. Первоначально (блок №1) формируются МПС для каждого из уровней декомпозиции КОП. Далее (блок №2) рассчитываются КОВ критериев по каждому (блок №4) из МОВ, а также вычисляется значение комплексного критерия эффективности *EST* (блок №3). В завершении для каждой сгенерированной *p*-й МПС выбирается (блок №5) оптимальный метод $\{M_p^{opt}\}$, $p=\overline{1,r}$, исходя из условия (3): $EST_p=\min\{EST_v\}, v=\overline{1,z}$, где v – индикатор МОВ, которому соответствует оценка; z – общее количество МОВ, из которых осуществляется выбор.

В качестве элементов тестового множества *TM*={*AN*, *EV*, *WLS*, *LLS*} при построении МСКВ использовались [6,7,8]: *AN* – метод аддитивной нормализации; *EV* – метод Саати; *WLS* – взвешенный метод наименьших квадратов (МНК); *LLS* – логарифмический МНК. При этом отсутствие строгой привязки к выбранной структуре МОВ предполагает ее возможное расширение на основе вновь разрабатываемых методов и модификаций уже существующих.

Оценка эффективности МСКВ для различных генераций МПС показала ее преимущество в сравнении со случайными методами множества *TM* (рис. 3). Результаты экспериментальных расчетов свидетельствуют об увеличении согласованности оценок предлагаемого метода в среднем до 6% и как следствие повышении качества ПР и снижении эксплуатационных затрат, связанных с простоем ВЭО, за счет более рациональной организации ремонтных мероприятий.

Итоговая оценка φ_j приоритета вывода в ремонт *j*-го ВЭО осуществляется по принципам: $\varphi_j=agg(y_l{}^j)$, $l=\overline{1,n_1}$, где $y_l{}^j$ – оценка эффективности *j*-й альтернативы по *l*-му критерию первого уровня иерархии; n_1 – количество критериев на первом уровне иерархии (непосредственно подчиненных глобальной цели). Оптимальная альтернатива определяется в соответствии с максимумом полученных оценок приоритета: $\varphi_{opt}=\max(\varphi_j),\ j=\overline{1,M}$.



а б

Рис. 3 – Сравнение МСКВ со случайным методом множества *ТМ* для МПС
а) 4-го и б) 5-го порядка

Среди особенностей представленного выше подхода стоит отметить: независимость оценок эффективности альтернатив по отдельным КОП на универсальной шкале 0…1; возможность расширения системы оценочных факторов и структуры МОВ; повышение согласованности суждений экспертов и качества ПР.

Выводы

Сформированные на базе предложенной методики оценки могут быть использованы на этапе планирования мероприятий по устранению дефектов и неисправностей ВЭО с целью предупреждения ситуаций, связанных с потерей его работоспособности. В сочетании с формализованными принципами контроля и оценки состояния ВЭО это позволит обоснованно определять последовательность вывода оборудования в ремонт, обеспечив эффективную поддержку при построении на предприятиях энергетической отрасли стратегии его эксплуатации по фактическому ТС.

Список литературы

1. *Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П.* Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: «Зинатне», 1990. –184 с.
2. *Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С.* Нечеткие модели и сети. – М: Горячая линия-Телеком, 2007. –284 с.
3. *Бочкарев С.В., Петроченков А.Б., Елтышев Д.К.* К вопросу о применении генетических алгоритмов для решения задач поддержки жизненного цикла электрооборудования // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2009. – № 2. – С. 136–142.
4. *Казанцев В.П.* Некоторые аспекты технологии эксплуатации электротехнических объектов на основе методов краткосрочного прогнозирования технического состояния / В.П. Казанцев, А.Б. Петроченков, А.В. Ромодин, Н.И. Хорошев // Электротехника, 2011. – № 11. – С. 28–34.
5. *Петроченков А.Б.* Об управлении жизненным циклом электротехнических комплексов в нефтедобыче // Электротехника, 2012. – № 11. – С. 40а–48.
6. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. –320 с.
7. *Chu A., Kalaba R., Springarn K.* A comparison of two methods for determining the weights of belonging to fuzzy sets // Journal of Optimization Theory and Applications, 1979. – Vol. 27. – pp. 531-541.
8. *Crawford G., Williams C.* A note on the analysis of subjective judgement matrices // Journal of Mathematical Psychology, 1985. – Vol. 29(4). – pp. 387-405.
9. *Golany B., Kress M.* A multicriteria evaluation of methods for obtaining weights from ratio-scale matrices // European Journal of Operational Research. – 1993. – Vol. 69 (2). – pp. 210-220.

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

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДИАМЕТРОВ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье приведено разработанное устройство для контроля диаметров бандажей без выкатки колесных пар из-под тягового подвижного состава, показаны его преимущества по сравнению с применяемой в настоящее время в локомотивных депо скобы И 461.00.00.

Ключевые слова: *тяговый подвижной состав, колесная пара, бандаж, диаметр, контроль, устройство.*

В результате многолетних исследований [1, 2] установлено значительное влияние на интенсивность износа колесных пар тягового подвижного состава (ТПС) разницы диаметров бандажей в колесной паре и колесных пар в тележках. Поэтому важным является точное измерение диаметров бандажей колесных пар и поддержание их размеров в установленных пределах [3, 4].

Измерение диаметров бандажей колесных пар локомотивов по кругу катания стандартной скобой (И 461.00.00) под кузовом локомотива практически невозможно [5].

Поэтому в большинстве депо размеры и разность диаметров бандажей контролируют замеряя толщину бандажей с помощью толщиномера (И-372.01.00), но он не дает необходимой точности измерения. Инструкция по формированию и содержанию колесных пар допускает отклонение размеров диаметров обода колесного центра от чертежного размера в сторону уменьшения на 6 мм, в сторону увеличения – на 3 мм, а точность измерения ±1 мм. Понятно, что такая точность не допустима [6, 7].

Так как бандажи жестко насаживаются на обод, то различаться будут и диаметры бандажей по кругу катания колесной пары (при их одинаковой толщине) [8]. Замеры диаметров бандажей колесных пар, прибывших для ремонта в дорожно-колесные мастерские Свердловской железной дороги, подтвердили наш вывод: выявлена разность диаметров двух бандажей по кругу катания – до 8 мм, причем толщина бандажей была одинакова [9].

Сопоставление результатов измерений диаметров бандажей и их толщины на 318 колесных парах в четырех эксплуатационных локомотивных депо Свердловской дирекции тяги позволили сделать вывод: оценивать разность диаметров двух бандажей одной колесной пары замеряя их толщину с помощью толщиномера нельзя. Из-за этого приходится излишне обрабатывать и преждевременно заменять бандажи [10, 11].

Авторами разработано устройство для замера диаметров бандажей колесных пар по кругу катания без выкатки из-под электровоза [12]. Принцип работы устройства (рис. 1), заключается в измерении диаметра бандажа $D_Б$ путем замера расстояния Δ, которое выражается как [13]:

$$\Delta = l - M = \sqrt{D_Б d_Р} - \sqrt{D_Б S - S^2}, \quad (1)$$

где $d_Р$ – диаметр ролика (движка) устройства; S – толщина скоса линейки.

При S = 9,5 мм и $d_Р$ = 100 мм

$$\Delta = f(D_Б) = 10 \cdot \sqrt{D_Б} - 3{,}082 \cdot \sqrt{D_Б - 9{,}5}. \quad (2)$$

Для сравнения предложенного устройства и скобы И 461.00.00 у 58 колесных пар электровозов ВЛ11 производились измерения диаметров бандажей и определялась их разность на одной колесной паре. Значения D_i соответствуют результатам, полученным разработанным устройством, а D_i' – скобой И 461.00.00 [14].

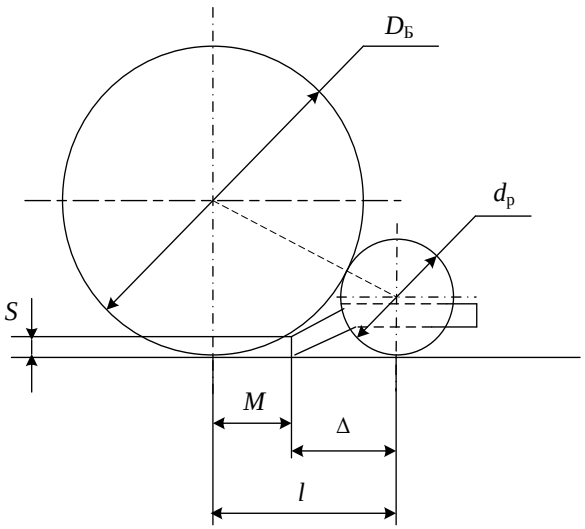


Рис. 1. Принцип измерения диаметра бандажа разработанным устройством

Ошибка измерений Δ_i (i = 1, 2,... , n) определена как разница в измерениях диаметров бандажей двумя устройствами, то есть $\Delta_i = D_i - D_i'$. Полученный ряд ошибок является выборкой объема n [15]. Функция распределения ошибки измерения $F(\Delta)$ диаметров представлены на рис. 2.

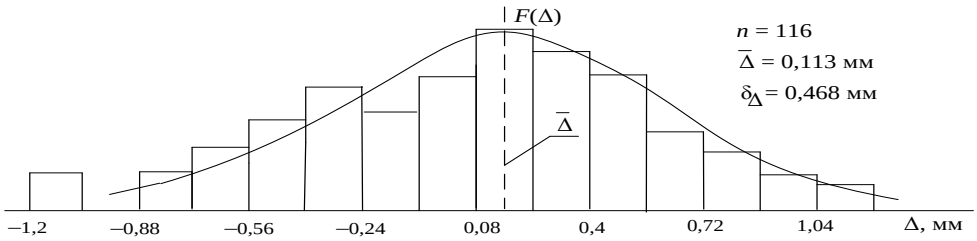


Рис. 2. Распределение ошибки измерения диаметров бандажей двумя устройствами

Средняя ошибка измерений составляют $\overline{\Delta}$ = 0,113 мм, среднеквадратические отклонения – σ_Δ = 0,468 мм для измерения диаметра бандажей, соответственно. Максимальная ошибка в измерении, равная $3\cdot\sigma_\Delta$, не превышает 1,5 мм [16]. Чтобы понять согласуются ли измерительные свойства обоих устройств, воспользуемся критерием Стьюдента с выборочной функцией. Расчетные значения t-критерия сравнивали с предельными $t_{\alpha,m}$ [17] для критической области $\left|\hat{t}\right| \geq t_{\alpha,m}$ при уровне значимости α = 0,01 и $m = n - 1$ степенями свободы [18]. Результаты проверки гипотезы H_0: $m_\Delta = 0$ приведены в таблице.

Таблица. Сравнение точности измерительных приборов

Контролируемый параметр	Значения факторных нагрузок d_i	$\overline{D}$, мм	σ_Δ, мм	$\hat{t}$, мм	Число степеней свободы, m	$t_{\alpha,\,m}$, мм
Диаметр бандажей	0,231	0,113	0,468	2,301	115	2,62

Из приведенной таблицы ясно, что гипотезы подтверждаются. Для сопоставления точности результатов, полученных двумя приборами, использованы методы факторного анализа. Нагрузка общего (генерального) фактора a_i между одинаковыми контролируемыми параметрами определялась по уравнению [19], характерность (точность) – по соотношению:

$$d_i^2 = 1 - a_i^2. \quad (3)$$

Результаты расчета факторных нагрузок, проведенного двухфакторным методом, приведены в таблице. Отклонение a_i от среднего значения (единицы), определяемое характерностью d_i, вызвано, главным образом, ошибками измерения самих параметров. Значения характерностей соответствует точности измерительного инструмента. Так, при измерении толщины бандажа относительная точность толщиномера составляет 10 %. Квадраты характерностей, полученные в результате расчетов для диаметров бандажей, составляют 5,3 %.

Устройство, предлагаемое авторами просто по конструкции и, в отличие от скобы И 461.00.00 позволяет замерять диаметры бандажей колесных пар на ТПС всех серий с достаточной точностью без применения таблиц пересчета [20].

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: дис. докт. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 455 с.
2. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
3. *Буйносов, А.П. Наговицын В.С.* Измерение бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
4. *Горский А.В., Буйносов А.П., Медведев Н.Ф., Наговицын В.С.* Правильно измеряйте износ бандажей // Локомотив. 1991. № 12. С. 36-37.
5. *Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.
6. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. 244 с.
7. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1996. № 12. С. 17-19.
8. *Горский А.В., Воробьев А.А., Буйносов А.П.* Система для контроля диаметров бандажей колесных пар // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжелом машиностроении. 1990. Т. 9. № 9. С. 38-34.
9. *Буйносов А.П., Воробьев А.А*. Методика оценки влияния разности диаметров бандажей колесных пар на их износ // Вестник ВНИИЖТ. 2010. № 4. С. 38-43.
10. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
11. *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.
12. *Горский А.В., Буйносов А.П*. Устройство для измерения диаметра бандажа колеса : А.С. № 1717936, СССР, МКИ G 01 B 5/08.
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., Кислицын А.М*. Измерительная система для контроля параметров бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 73-78.
15. *Буйносов А.П., Кислицын А.М*. Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 54-58.
16. *Буйносов А.П., Медведев Н.Ф*. Измерение проката бандажей колесных пар локомотивов // Железнодорожный транспорт: Обзорная информация. Серия: Локомотивы и локомотивное хозяйство, Ремонт локомотивов. 1993. № 4. С. 1-10.
17. *Буйносов А.П*. Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 3 (26). С. 64-68.
18. *Буйносов А.П.* Автоматизированный контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2010. № 7. С. 52-53.
19. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.
20. *Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С*. Бесконтактное измерение бандажей колесных пар // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34-36.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Я.А. Мишин

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, yaroslav_mishin@mail

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОПОРНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ПАССАЖИРСКОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

В статье приведены статистические данные по количеству неплановых ремонтов тяговых приводов пассажирских электровозов, рассмотрено практическое применение триботехнического состава для повышения ресурса опорного цилиндрического роликового подшипника.

Ключевые слова: *электровоз, опорный подшипник, неплановый ремонт, износ, долговечность.*

Современный электроподвижной состав (ЭПС), несмотря на высокие технико-эксплуатационные показатели, имеет значительные недостатки. Основная проблема железнодорожного транспорта износ деталей, который приводит к частичному отказу отдельных систем и электровоза в целом [1].

Процесс износа ускоряют вибрации элементов электровоза, что ведет к увеличению вероятности возникновения неисправностей. Тяжелые условия работы ЭПС усугубляются в зимнее время, когда из-за увеличения жесткости рельсового пути динамическое ускорение колесных пар от ударов на стыках достигает 150 м/с^2 [2].

Изнашивание сопровождается как чисто механическими проявлениями (пластическое резание, усталостное повреждение микровыступов, абразивное изнашивание), так и физико-химическими явлениями, такими, как окисление, молекулярное схватывание (адгезионное изнашивание) [3]. Этому подвержены все узлы электровоза, а особенно механическая часть локомотива. Этот факт подтверждается, как опытом многолетней эксплуатации, так и количеством неплановых ремонтов [4].

В таблице приведены данные по видам неисправностей тягового привода, которые привели к неплановым ремонтам электровозов ЧС2 в ремонтных локомотивных депо Свердловской дирекции по ремонту тягового подвижного состава за период с 2007 по 2011 гг.

Таблица – Причины неплановых ремонтов тягового привода электровозов серии ЧС

Вид неисправности	Доля отказов по годам, в процентах				
	2007	2008	2009	2010	2011
Повреждение опорного подшипника	12,73	9,47	9,52	8,33	8,33
Повреждение подшипника малой шестерни	3,64	1,05	9,52	8,33	0
Шум редуктора	0,91	8,42	0	8,33	33,33
Повреждение большого зубчатого колеса	0	0	2,38	8,33	0
Повреждение малой шестерни	1,82	0	0	16,67	8,33
Металл в редукторе	10,91	4,21	4,76	0	0
Излом шлицов и поводка малой шестерни	64,55	65,26	61,90	33,33	8,33
Повреждение соединения вал–поводок	0	3,16	2,38	0	0
Повреждение корпуса редуктора	2,73	1,05	2,38	8,33	0
Повреждение лабиринта редуктора	0	1,05	2,38	8,33	8,33
Ослабление болтов опоры	0,91	4,21	2,38	0	8,33
Прочие неисправности	1,82	2,11	2,38	0	25,00

Как видно из таблицы в 2011 г. 33 % всех неплановых ремонтов из-за неисправности тягового привода приходятся на шум в редукторе (из-за неисправности опорного подшипника), по 8 % приходятся на: повреждение опорного цилиндрического роликового подшипника; повреждение малой шестерни; излом шлицов и поводка малой шестерни; ослабление болтов опоры. Таким образом, более 40 % неисправностей тягового привода – низкая надежность опорного подшипника привода [5].

На сегодняшний день ОАО «РЖД» тратит значительные денежные ресурсы на восстановление и замену изношенных деталей. В эксплуатации железнодорожного транспорта особое внимание уделяется повышению ресурса и надежности электровозов, за счет продуктивного использования ресурсосберегающих технологий, как при ремонте, так и при производстве электровозов [6].

Одним из слабых узлом электровоза ЧС2 является тяговая передача. В данном типе электровоза используется опорно-рамная подвеска тягового электродвигателя с применением карданной передачи. Выработка ресурса использования электровозов наряду со стабилизацией и некоторым увеличением объема перевозок приводит к тому, что на локомотивы увеличивается нагрузка, соответственно увеличивается и нагрузка на тяговую передачу. Увеличение нагрузки и отклонения от конструкционных параметров приводят к выходу из строя опорного узла редуктора электровоза, как правило, преждевременного износа деталей опорных цилиндрических роликовых подшипников электровоза ЧС2 [7].

Долговечность опорных подшипников – расчетный срок службы, измеряемый числом оборотов, в течение которого не менее 90 % из группы подшипников при одинаковых условиях должны отработать без появления признаков усталости металла [8].

Одним из эффективных методов повышения долговечности является обработка трущихся поверхностей триботехническим составом (ТС) «НИОД» [9]. В результате специфических свойств его применение позволяет не только остановить изнашивание, но и в некоторых случаях восстановить трущиеся поверхности [10]. Успех применения самосмазывающихся материалов в значительной мере зависит от условий работы, выбора оптимальной для этих условий работы марки материала и конструкций узла трения [11].

ТС «НИОД» – это мелкодисперсная многокомпонентная сухая смесь силикатов, в которую входят 7 минералов, смешанных в определенной пропорции [12]. Отличительной особенностью от других материалов, не является смазкой или присадкой к ней, он внедряется в поверхность металла. При его нанесении происходит микрошлифование поверхности трения, микровосстановление формы и размеров деталей [13].

Для повышения долговечности составом «НИОД» были обработаны шесть опорных подшипников электровозов серии ЧС. На подшипниках были сколы, раковины, износ, на телах качения, внутренних и наружных колец (см. рисунок).

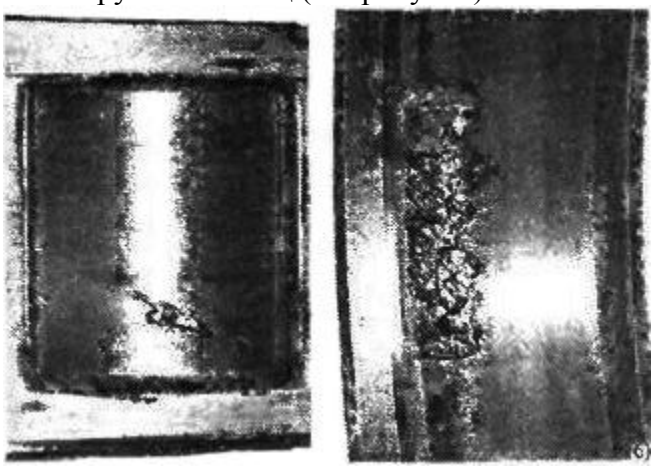


Рис. Подшипники с дефектами

Перед обработкой «НИОД» были замерены механические колебания генерируемые подшипниками в диапазоне от 1 до 20 кГц [14]. Последующие измерения производились в разный период времени, но при одинаковом пробеге, в общей сложности около года.

Результат объективного анализа состояния подшипников показал, что после обработки частота подшипников снизалась, следовательно, уровень шума уменьшился, а после пробега 200 тыс. км не превышал максимальных значений [15].

Данные, полученные с помощью уникального акселерометра и аппаратуры фирмы Брюль и Къер, предназначенной для диагностирования колесно-моторного блока показал, что три подшипника не имели указанных выше дефектов, на трех других – слабые и средние дефекты устранялись полностью [16].

Эффект от применения триботехнического состава «НИОД» очевиден. Его способность восстанавливать и упрочнять трущиеся поверхности, уменьшать шум, трение, вибрации, перегрев делает не заменимым [17, 18]. Применение дает возможность увеличить межремонтные пробеги, уменьшить затраты на ремонт, увеличить долговечность опорных цилиндрических роликовых подшипников тягового привода пассажирского электровоза.

Список литературы

1. *Горский А.В., Буйносов А.П.* Анализ износа бандажей // Железнодорожный транспорт. 1991. № 1. С. 46-47.
2. *Буйносов А.П.* Влияние твердости колеса и рельса на их износ // Локомотив. 1995. №3. С. 31-32.
3. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Восстановление конфигурации профиля бандажей колесных пар промышленных электровозов с помощью наплавки // Мир транспорта и технологических машин. 2012. № 2. С. 59-68.
4. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
5. *Буйносов А.П., Мишин Я.А*. Повышение надежности тяговых редукторов электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 85-89.
6. *Буйносов А.П., Цихалевский И.С., Бунзя А.В.* Влияние перекоса колесной пары на износ гребней бандажей // Локомотив. 1998. № 12. С. 26-27.
7. *Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В., Буйносов А.П.* Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. 1992. № 7. С. 40-44.
8. *Буйносов А.П., Кузьмин К.А.* Обработка бандажей составом НИОД // Локомотив. 1996. № 3. С. 25-26.
9. *Наговицын В.С., Буйносов А.П., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С*. Обработка бандажей колесных пар локомотивов составом НИОД // Вестник Российской Академии транспорта. Уральское межрегиональное отделение. 1998. С. 136-138.
10. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266-274.
11. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А*. Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.
12. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
13. *Буйносов А.П., Наговицын В.С*. Новый смазывающий состав повышает надежность // Локомотив. 1998. № 7. С. 36.
14. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава / Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. 244 с.
15. *Буйносов А.П., Тихонов В.А*. Результаты применения триботехнического состава для уменьшения износа гребней колесных пар электроподвижного состава // Вестник ВЭлНИИ. 2011. № 2(62). С. 114-125.
16. *Буйносов А.П., Наговицын В.С*. Новый гребнесмазыватель на основе графитосодержащего материала // Железнодорожный транспорт. 1996. № 2. С. 39-41.
17. *Буйносов А.П., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С.* Эффект лубрикации // Железнодорожный транспорт. 1998. № 5. С. 41-44.
18. *Горский А.В., Буйносов А.П., Волков М.А*. Использование ресурса бандажей электровозов // Локомотив. 1991. № 1. С. 34-35.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., И.М. Пышный

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, igorkz45@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОПОРИСТОВОГО АНТИФРИКЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

В статье представлены результаты лабораторных и экспериментальных исследований применения разботанного нового триботехнического состава «НАП» на повышение ресурса бандажей до обточки колесных пар электровозов промышленного железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: *промышленный транспорт, электровоз, колесная пара, бандаж, износ, триботехнический состав, обточка, ресурс.*

При прохождении промышленным электровозом ПЭ2^{М} криволинейных участков пути наибольшему износу подвергаются гребни всех колесных пар [1]. Одним из эффективных прицпиально новых методов снижения трения, разработанных в последнее время и реализуемых с помощью несложного оборудования [2], позволяющий не только остановить изнашивание, но и в некоторых случаях восстановить состояние изношенных поверхностей, является обработка трущихся поверхностей триботехническим составом (ТС) [3].

Успех применения ТС для повышения долговечности колесных пар в значительной мере зависит от условий работы электровозов, выбора оптимальной для этих условий работы марки бандажа и ряда других факторов [4, 5]. Применение триботехнического состава ТС НИОД (нанесение ионного покрытия на детали) на электропоездах и электровозах ЧС2 и ЧС7 ОАО «РЖД» позволило увеличить ресурс бандажей (колес) до обточки от 40 % до 2,41 раз [6], однако на грузовых и промышленных электровозах эффект был более низкий (от 1 до 16 %) или даже отрицательный [7].

На кафедре «Электрическая тяга» УрГУПС совместно с ООО «РПО-Центр» в ноябре 2012 г. завершены лабораторные и экспериментальные исследования по созданию нового ТС, получивший название «Нанопористое антифрикционное покрытие» (НАП) [8].

ТС НАП – это состав, содержащий тонкодисперсные смеси минералов, добавок и катализаторов с размером зерна менее 10 мкм, экологически безопасный [9]. Принцип действия ТС НАП заключается в формировании на поверхностях трения стеклокерамического покрытия, которое образуется послойно [10]. Каждый слой можно характеризовать циклом, состоящим из нескольких этапов. Ввиду особенностей процесса обработки каждый цикл полностью завершается за один полный оборот колесной пары [11]. Эффект уменьшения износа колесных пар электровозов связан с образованием на гребне бандажа пленочных «зеркал» скольжения, образованию которых способствует наличие в ТС НАП магнетита, который находится в тесном «родстве» с серпентинитом [12].

Наличие магнетита обуславливает «налипание» ТС НАП на металлическую поверхность бандажа, способствуя, таким образом, формированию антифрикционной пленки (зеркала) скольжения [13]. Благодаря образованию этой пленки происходит заметное снижение коэффициента трения и износа гребней бандажей колесных пар электровозов [14].

В ТС НАП на основе серпентинита присутствуют силоксановые (мостиковые) связи Si-0-Si, при разрыве которых, вследствие разрушения (измельчения) минерала, образуются нескомпенсированные, оборванные связи Si-O, являющиеся активными акцепторами водорода в форме $H_{и}$-. При их взаимодействии образуются скомпенсированные силанольные

группы Si-OH [15, 16]. Таким образом, тонко измельченный серпентин, обладающий большой удельной поверхностью и большим числом оборванных силаксановых связей, создает благоприятные условия для связывания находящегося в зоне трения активного водорода, что препятствует его взаимодействию с металлом и предотвращает водородный износ, приводящий к хрупкости металла [17].

Если считать оборванные связи поверхностными дефектами силиката, то адсорбция водорода с образованием силанольных групп Si-OH – это способ энергетической компенсации таких дефектов, своего рода «самозалечивание» поверхностей трения при помощи серпентинита в составе ТС НАП [18].

Таким образом, силикаты с оборванными Si-0-Si связями являются эффективными адсорбентами активного водорода и, следовательно, могут использоваться для решения проблемы водородного износа металлов в узле трения с экстремальными нагрузками (температура и давление), характерными для взаимодействия пары «колесо–рельс» [19].

С другой стороны, как показали исследования, в зоне трения пары «колесо–рельс» образуется температура до 600 °С, при которой ТС НАП переходит в форстерит: $Mg_6\ [Si_4O_{10}](OH)_8 - 3Mg_2SiO_2 + 4H_2O$. Этот процесс является эндотермическим, т.е. требует затрат энергии (336 кДж на 1 моль ТС НАП), которая «гасится» реакцией разложения находящегося в зоне трения серпентинита. При этом указанная температура разложения ТС НАП относится к нормальному атмосферному давлению и с ростом давления существенно снижается [20].

Для сравнения интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар, обработанных и необработанных ТС НАП в 2011–2012 гг. на электровозах $ПЭ2^{М}$ приписки ОАО «Ураласбест» эксплуатируемые в открытом карьере и имеющие выход на железнодорожные пути общего пользования был выполнен сравнительный анализ по разработанной в УрГУПС методике [21].

Промышленный электровоз $ПЭ2^{М}$ состоит из одной четырехосной управляющей секции и трех четырехосных секций моторных думпкаров, содержит 16 колесных пар. Устройства для нанесения ТС НАП были установлены на все бандажи колесных пар, кроме секции управляющего локомотива.

После обработки полученного статистического материала используя разработанный в УрГУПС электронный прибор [22, 23] с программным обеспечением построены зависимости среднего значения и среднеквадратического отклонения износа гребней бандажей колесных пар промышленных электровозов $ПЭ2^{М}$ от наработки для 2-х групп – до и после обработки ТС НАП (см. рисунок).

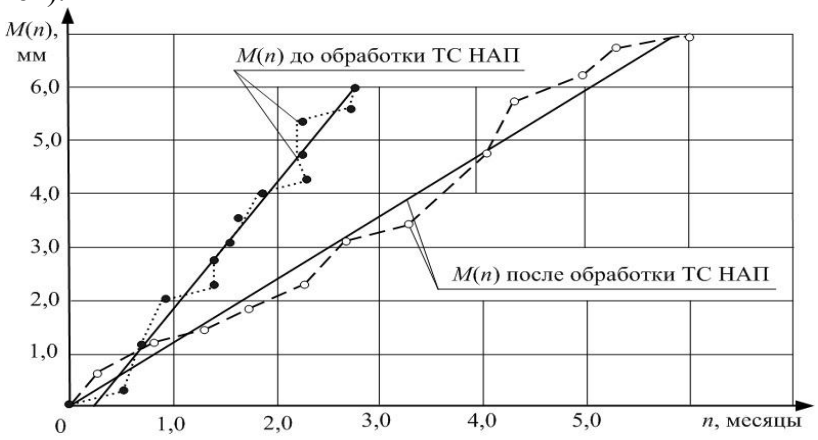


Рис. Зависимости среднего значения износа гребня бандажей колесных пар до и после обработки ТС НАП

95%-ный ресурс бандажей колесных пар промышленных электровозов $ПЭ2^{М}$ до обточки колесных пар после обработки ТС НАП увеличился на 47,3 % (с 3,8 до 7,2 месяцев).

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Восстановление конфигурации профиля бандажей колесных пар промышленных электровозов с помощью наплавки // Мир транспорта и технологических машин. 2012. № 2. С. 59-68.
2. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Разработан бортовой локомотивный гребнесмазыватель «твердого» типа // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 3. С. 92-96.
3. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266-274.
4. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Увеличение срока службы бандажей колесных пар промышленных тепловозов // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. 2011. № 3(103). С.152-156.
5. *Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Пышный И.М.* Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар промышленных тепловозов // Транспорт Урала. 2011. № 1(28). С. 64-69.
6. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.
7. *Наговицын В.С., Буйносов А.П., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С.* Обработка бандажей колесных пар локомотивов составом НИОД // Вестник Российской Академии транспорта. Уральское межрегиональное отделение. 1998. С. 136-138.
8. *Буйносов А.П.* Применение триботехнического состава для повышения ресурса бандажей до обточки колесных пар электроподвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 49-53.
9. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Результаты применения системы гребнесмазывания АГС-8 на промышленном железнодорожном транспорте // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 64-68.
10. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Увеличение ресурса бандажей колесных пар промышленных электровозов с помощью наплавки // Известия Транссиба. 2012. № 2. С. 7-16.
11. *Балдин В.Л., Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Повышение долговечности колесных пар за счет упрочнения гребней бандажей локомотивов // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 5(29). С. 57-60.
12. *Буйносов А.П.* Выбор оптимального остаточного проката бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Транспорт Урала. 2010. № 2. С. 45-47.
13. *Буйносов А.П.* Влияние твердости колеса и рельса на их износ / Локомотив. 1995. №3. С. 31-32.
14. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Определение допустимой разности диаметров бандажей с учетом затрат на ремонт колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 122-126.
15. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
16. Буйносов А.П. Взаимодействие колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 1999. № 5. С. 22-25.
17. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение надежности тяговых редукторов электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 85-89.
18. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Новый смазывающий состав повышает надежность // Локомотив. 1998. № 7. С. 36-38.
19. *Горский А.В., Буйносов А.П., Волков М.А.* Использование ресурса бандажей электровозов // Локомотив. 1991. № 1. С. 34-35.
20. *Буйносов А.П., Кузьмин К.А.* Обработка бандажей составом НИОД // Локомотив. 1996. № 3. С. 25-26.

21. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А*. Методика определения ресурса бандажей колесных пар локомотивов // Транспорт Урала. 2012. № 3. С. 98-102.
22. *Буйносов А.П., Кислицын А.М*. Измерительная система для контроля параметров бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 73-78.
23. *Буйносов А.П., Кислицын А.М*. Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 54-58.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., К.А. Стаценко к.т.н., Е.В. Бган, Е.А. Гузенкова

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, kstatsenko@mail.ru

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СВОБОДНОСТЬЮ ПУТИ ПРИ РАБОТЕ МАШИНИСТА ЛОКОМОТИВА В «ОДНО ЛИЦО»

В статье рассмотрены вопросы обеспечения безопасности движения при внедрении технологии обслуживания локомотива машинистом без помощника, разработана система слежения за свободностью пути и описаны основные ее компоненты.

Ключевые слова: *локомотив, машинист, помощник, система слежения, разработка.*

От профессиональной подготовленности машиниста локомотива, его опыта, способности быстро ориентироваться и принимать правильные решения в сложных ситуациях зависит не только четкая реализация, но главное, безопасность и надежность всего перевозочного процесса – важнейшие требования к работе железных дорог [1].

Следует отметить, что хотя количество нарушений безопасности движения на сети железных дорог России из года в год уменьшается, но особые случаи брака в работе все еще имеют место. При этом около 50 % из них связано с локомотивным хозяйством, где превалирующим является человеческий фактор, определяемый работой локомотивных бригад [2, 3].

В настоящее время на сети железных дорог России внедряется технология вождения поездов одним машинистом без помощника [4]. Целесообразность перевода локомотивов на обслуживание в «одно лицо» основывается на положительном опыте работы железных дорог Российской Федерации, и продиктована безотлагательной необходимостью повышения производительности труда и сокращению эксплуатационных затрат [5, 6].

В настоящее время практику вождения поездов одним машинистом применяют на Восточно-Сибирской, Московской, Октябрьской и ряде других железных дорог России. Способ обслуживания локомотива в «одно лицо» получил распространение в маневровой, хозяйственной работе, а также в пассажирском движении на участках с небольшим размером движения [7, 8].

Поскольку внедрение этого метода обслуживания локомотива увеличивает психологическую и физическую нагрузку на машиниста [9], чтобы обеспечить безопасность движения и надежность этого прогрессивного метода организации труда, требуется выполнить ряд подготовительных мероприятий и работ:

– подобрать машинистов с учетом специальных требований к возрасту, с учетом повышенных медицинских требований, опыту самостоятельной работы и уровню их квалификации [10];

– разработать местные инструкции по вождению поездов в «одно лицо» [11];

– оборудовать локомотивы устройствами автоматической остановки поезда на случай внезапной потери машинистом способности управлять им, устройствами контроля бдительности машиниста [12];

– оборудовать локомотивы системой слежения за свободностью пути по левому борту локомотива [13].

Распространение обслуживания локомотива в «одно лицо» сдерживает нехватка высококвалифицированных кадров, прошедших строгий медицинский отбор, а также необходимость разработки и внедрения новых приборов безопасности [14]. На локомотивах внедряются новейшие системы автоведения поезда, системы диагностики, современные

средства пожаротушения, звукового оповещения об ограничении скорости движения поездов и другая техника, выполняющая часть функций помощников машиниста [15].

Для решения указанных задач на кафедре «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения разработана система слежения за свободностью пути, призванная уменьшить нагрузку на машиниста при ведении поезда «в одно лицо» [16, 17].

Разработанная система построена по блочному принципу и состоят из следующих подсистем: монитор, устройство управления (пульт дистанционного управления), устройство записи, видеокамеры (рис. 1). Схема работы системы представлена на рис. 2.

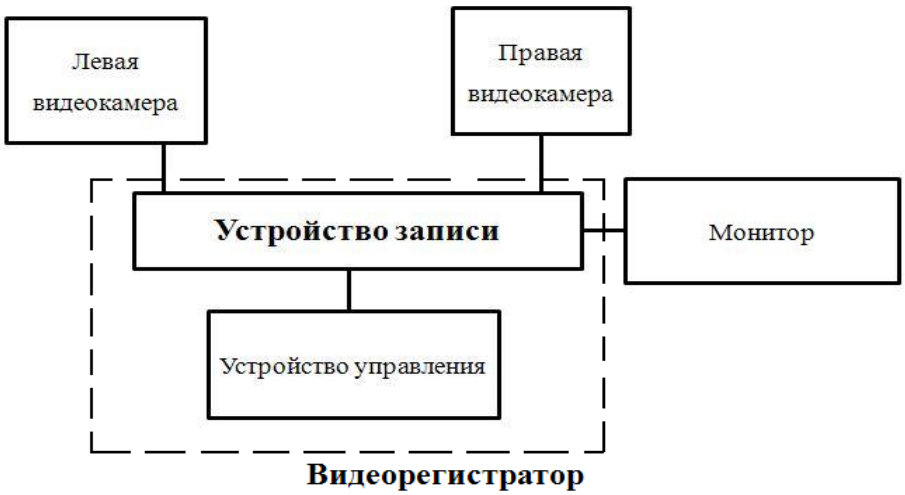


Рис. 1 – Компоненты системы слежения за свободностью пути

Рис. 2 – Схема работы системы слежения

С помощью разработанной в УрГУПС системы машинист локомотива имеет возможность из кабины управления наблюдать состав поезда снаружи. Система видеонаблюдения за свободностью пути по сравнению с визуальным контролем с помощью зеркал имеет важное преимущество – позволяет вести видеозапись для последующего просмотра и анализа.

Видеокамеры внешнего наблюдения (левая и правая) при помощи специальных кронштейнов крепятся на кузове локомотива. При этом стандартные локомотивные зеркала заднего вида для обеспечения требуемого уровня безопасности движения сохраняются.

Изображение камер, имеющих герметичные ударопрочные корпусы, подается на монитор. Машинист через пульт дистанционного управления имеет возможность подключать на монитор любое сочетание видеокамер (левая видеокамера, правая видеокамера, левая и правая видеокамеры вместе) [18].

Сигналы с видеокамер передаются по коаксиальному кабелю на монитор и устройство управления, позволяющее объединить на одном экране изображение от двух источников. Впоследствии количество источников изображения может быть увеличено до четырех. С устройства управления изображение поступает на устройство видеозаписи и на монитор. Записанная информация может быть перенесена без потери качества на компьютер, а затем на любой другой цифровой носитель в виде стандартных файлов [19]. Одновременно с видеоизображением можно записывать голосовой комментарий.

Видеозапись может быть документом, необходимым при расследовании причин аварий. Имеется также возможность распечатывать отдельные кадры видеозаписи.

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. 455 с.
2. *Буйносов А.П., Стаценко К.А*. Повышение ресурса колесных пар электровозов технологическими методами: Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2012. 215 с.
3. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А*. Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.
4. *Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.
5. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Как повысить надежность бандажей // Локомотив. 1999. № 7. С. 36-38.
6. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
7. *Балдин В.Л., Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Повышение долговечности колесных пар за счет упрочнения гребней бандажей локомотивов // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 5(29). С. 57-60.
8. *Буйносов А.П.* Повысить надежность аккумуляторов на электропоездах // Железнодорожный транспорт. 1997. № 3. С. 25-27.
9. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
10. *Балдин В.Л., Буйносов А.П.* Автоматическая система мониторинга состояния бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. 2010. № 2. С. 113-125.
11. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
12. *Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С.* Бесконтактное измерение бандажей колесных пар // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34-36.
13. *Буйносов А.П.* Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 3 (26). С. 64-68.
14. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Определение натяга бандажа на ободе колесного центра локомотива // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 3. С. 62-68.
15. *Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В., Буйносов А.П.* Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. 1992. № 7. С. 40-44.
16. *Буйносов А.П. Цихалевский И.С*. Перекос колесной пары относительно рамы тележки электровоза и износ гребней бандажей // Вестник Российской Академии транспорта. Уральское межрегиональное отделение. 1998. С. 133-135.
17. *Буйносов А.П*. Контроль бандажей колесных пар // Локомотив. 1991. № 9. С. 36.
18. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Тихонов В.А.* Совершенствование методики контроля шероховатости посадочной поверхности бандажей колесных пар локомотивов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2011. № 4. С. 23-30.
18. *Горский А.В., Буйносов А.П*. Устройство для измерения диаметра бандажа колеса : А.С. № 1717936, СССР, МКИ G 01 B 5/08, опубл. в Б.И. 1992. № 9.
19. *Горский А.В., Буйносов А.П*. Влияние разности диаметров бандажей колесной пары на интенсивность износа ее гребней // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжелом машиностроении. 1990. Т. 9. № 21. С. 38-44.

05.21.01

А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова д.т.н., Б.С. Юшков к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,

Ухтинский государственный технический университет,
Ухта, oburmistrova@ugtu.net

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ СПОСОБА УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

В работе обоснован способ улучшения физико-механических свойств грунтов земляного полотна в условиях Северо-Западного региона.

Ключевые слова: *физико-механические свойства, земляное полотно, лесовозные автомобильные дороги, грунты*.

Сезоннопромерзающие грунты являются весьма сложными природными многофазовыми образованиями, состоящими из различных по свойствам компонентов, находящихся в разном фазовом состоянии.

Лесовозные автомобильные дороги, работающие в условиях глубокого сезонного промерзания, подвергаются сильному климатическому воздействию в период промерзания и оттаивания. Опыт строительства и эксплуатации, лесовозных дорог показал, что выпучиванию при глубоком промерзании подвергаются многие участки дорог. Подобное явление объясняется прочным смерзанием слоя грунта сезонного промерзания с покрытием дороги и их поднятием при пучении этого слоя.

По данным Дорожного Агентства Пермского края все лесовозные дороги (ЛД) имеют выходы к сети региональных автодорог общего пользования с разными типами покрытий (табл. 1).

Таблица 1 - Общая протяжённость дорог

Технические категории автомобильных дорог, км					Тип покрытия		
I	II	III	IV	V	ц/бетон	а/бетон	переходный
52	65	1985	1100	3,9	22	2600	560

Транспортная обеспеченность лесничеств Пермского края желает лучшего. В большинстве лесничеств не хватает улучшенных дорог с твёрдым покрытием круглогодового действия и финансовых средств для своевременного проведения ремонтных работ по улучшению транспортно-эксплуатационных показателей ЛД.

В настоящее время общая протяженность лесовозных дорог составляет:
железных – 1815 км; автомобильных – 44402 км, в том числе с твердым покрытием – 6369 км, грунтовых – 37533 км.

Общая протяжённость зимников составляет 32482 км.

Для круглогодового действия задействовано 11920 км дорог.

Задачи, поставленные перед лесным хозяйством Пермского края в деле повышения продуктивности лесов, улучшения их породного состава и эффективности использования земель лесного фонда требуют более интенсивного строительства лесных автомобильных дорог и увеличения сроков службы дорожных конструкций эксплуатируемых дорожной сети.

Для регулирования водно-теплового режима работы дорожной конструкции и обеспечения ровности покрытий дорог применяются различные технологии и методы.

Существуют три основных направления улучшения грунтов основания лесовозных автомобильных дорог, представленные на рис. 2.

Для увеличения несущей способности грунтов естественного сложения может быть применено его поверхностное уплотнение. Поверхностное уплотнение обычно производят слоями толщиной ≤ 0,5 м, используя такие механизмы уплотнения, как поверхностные трамбовки, катки, вибротрамбовки, виброплиты и т.д. При необходимой толщине уплотнения грунта в 2…3 м применяют поверхностное уплотнение тяжелыми трамбовками массой до 2…10 т.

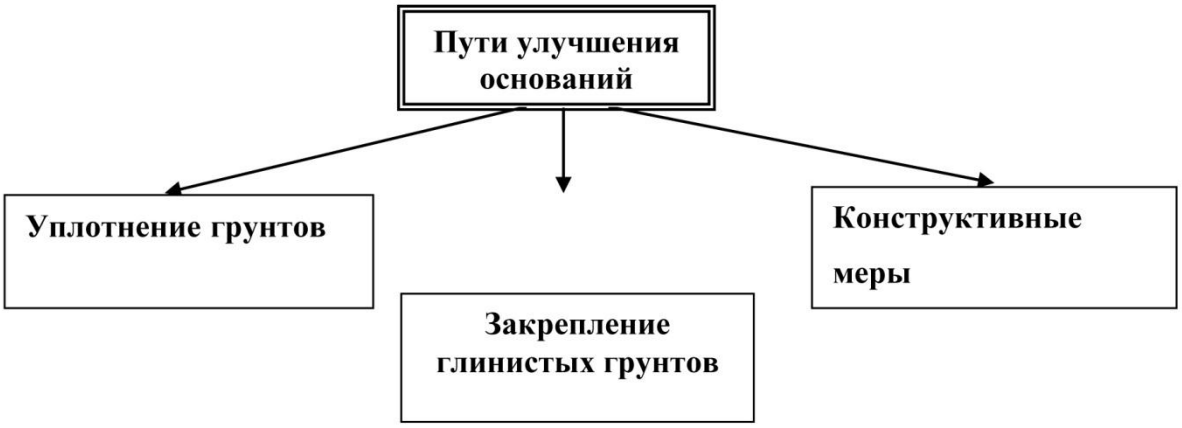


Рис. 2 – Схема основных направлений развития путей улучшения оснований лесовозных дорог

При необходимости уплотнения грунта основания на глубину более 3 м используют глубинные способы уплотнения. Глубинный процесс уплотнения основания происходит и при приложении к нему уплотняющей нагрузки (в виде отсыпанной насыпи). Для глинистых грунтов процесс уплотнения основания дороги происходит довольно медленно (теория фильтрационной консолидации в механике грунтов) и может продолжаться до нескольких десятков лет.

На участках местности, где близко расположены грунтовые воды, при строительстве лесовозных дорог применяется метод уплотнения понижением уровня грунтовых вод. Известно, что грунт, расположенный ниже уровня грунтовых вод (УГВ), испытывает взвешивающие действие воды, которое проявляется в виде снижения величины удельного веса грунта. При искусственном водопонижении грунт оказывается выше УГВ, что приводит к увеличению удельного веса грунта и, как следствие, к уплотнению основания.

Следует учитывать и негативные последствия данного явления, когда вместе с уплотнением основания получают дополнительные осадки.

Закрепление грунтов оснований дорожной одежды основано на проникновении различных реагентов в грунтовое поровое пространство и взаимодействие их с минеральными частицами. Очевидно, что применение того или иного метода закрепления грунтов будет зависеть от пористости основания или его коэффициента фильтрации.

В зависимости от значений коэффициента фильтрации ($К_ф$) грунтов оснований могут быть использованы различные методы закрепления.

Для грунтов с коэффициентом фильтрации $К_ф > 100$ м/сут используется цементация – это нагнетание цементного раствора в поры грунта с целью его уплотнения и скрепления минеральных частиц (отдельных блоков). Цементационный раствор посредством перфорированного инъектора подается в грунт под давлением до 0,2…0,4 МПа. Используется, как правило, закрепляющий раствор, имеющий состав: цемент + вода (1:5); цемент + вода + песок (1:5:1).

Для грунтов с коэффициентом фильтрации $К_ф = 2…80$ м/сут используется силикатизация – это химическое закрепление грунтов при нагнетании в основание раствора кремневой кислоты (жидкого стекла) $Na_2O n SiO_2$. При разложении в грунте кремневая кислота переходит в состояние геля и связывает отдельные минеральные частицы. Для ускорения

данного химического процесса в грунт вводят катализатор – хлористый кальций ($CaC\ell_2$). Закрепленный грунт основания дороги приобретает прочность следующего порядка: песок – 1,5…3,0 МПа; супесь – 0,5 МПа.

Для грунтов с коэффициентом фильтрации $К_ф$ = 0,2…5 м/сут используется однорастворный метод силикатизации. В этом случае инъекционный гелеобразующий раствор состоит из смеси жидкого стекла и фосфорной кислоты ($Na_2O \cdot nSiO_2 + H_3PO_4$). Однорастворный метод силикатизации придает прочность грунту порядка 0,3…0,5 МПа. Однако из-за относительно большой стоимости H_3PO_4, данный метод закрепления получил ограниченное применение.

Для грунтов с $К_ф$ < 0,1 м/сут (супеси, суглинки) применяют электрохимическое закрепление. Электрохимическое закрепление (ЭХЗ) основано на явлении электроосмоса, которое еще в 1808 г. было открыто профессором Московского университета Ф.Ф. Рейсом. Суть данного явления заключается в том, что при пропускании постоянного тока через глинистый грунт последний теряет связную воду, которая получает перемещение (миграцию) в сторону отрицательного электрода (катода). При электрохимическом закреплении к перфорированным трубам-электродам подается постоянный ток со средним напряжением 50…80 В.

Свободная вода скапливается около катода, а затем через перфорированный инъектор откачивается. Одновременно через инъектор анод подается раствор хлористого кальция ($Cac\ell_2$), который способствует закреплению основания. Периодически производится смена полярности. В результате проведения подобных работ в связном грунте уменьшается влажность и возрастает прочность (угол внутреннего трения и сцепления увеличиваются до 70 %). Основными достоинствами ЭХЗ являются: нерастворимость образующегося монолитного массива в воде; необратимость структурообразующих процессов при наборе прочности грунтов; снижение расхода материалов и трудозатрат в сравнении с полной реконструкцией участка дороги, подверженному морозному пучению. Существенным недостатком является образование токсичных соединений и веществ, представляющих экологическую опасность.

В последнее время широкое применение нашли водонепроницаемые рулонные материалы в слоях дорожной одежды. В качестве гидроизолирующих прослоек применяются термопластики (безосновные резинобитумные рулонные материалы), такие как изол, бризол, орулин, гидроизоляционный материал на основе полиизобутилена и др.; пленки, к ним относятся полиэтиленовая поливинилхлоридная и полиамидная пленка, а также пленка АРМАДОР-2; основные рулонные материалы, к которым относятся гидроизол, рубероид, стеклорубероид, а также тканные и нетканые синтетические материалы, обработанные битумом до их полной водонепроницаемости путем создания на поверхности синтетического материала сплошной пленки битума.

Применяемая технология работ по устройству гидроизолирующих прослоек является затратной и зависит от конструкции дорожной одежды и местоположения гидроизолирующей прослойки.

Следующие технологии позволяют регулировать тепловой режим земляного полотна путем устройства морозозащитных и теплоизолирующих слоев. К данным материалам относятся полимерные материалы (пенопласты); легкие бетоны, в которых содержатся пористые заполнители (керамзит, аглопорит, гранулы полистирола, измельченный пенопласт); металлургические шлаки; золошлаковые смеси; композиции из местных материалов или грунтов, легких заполнителей и вяжущих, приготовленных способом смешения как в установке, так и на полотне дороги; битумоминеральные смеси обычные или с легкими заполнителями.

Особенности пенополистирола заключаются в их большой стабильности и надежности, невосприимчивости к влаге и почвенным организмам, а также в биологической нейтральности, т.е. отсутствии угрозы для почвенных вод. Состоящий из блоков пенополистирол в основании дорожной конструкции позволяет выполнять равномерное

распределение нагрузки для насыпей и мостов. Их постоянное усилие сжатия позволяет выполнять равномерное распределение давления на болотистых почвах. Легкая насыпь такого состава предотвращает оседание и образование рытвин в дорожной структуре, особенно в зонах критического доступа для структур с глубокими фундаментами, например мостов. Многие страны выбрали и одобрили такой способ строительства дорог благодаря долговременным эксплуатационным характеристикам пенополистирола. Устройство теплоизолирующего слоя из пенополистирола позволяет резко уменьшить толщину или полностью исключить морозозащитный слой, но является дорогим, при этом отмечается сложность в технологии укладки.

Для обеспечения этого требования устраивают морозозащитные слои из кондиционных песков, песчано-гравийной смеси, гравия, укрепленных грунтов и из других непучинистых материалов. На участках с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями толщина морозозащитного слоя может достигать 1 м и более. На таких участках трудно обеспечить необходимое количество кондиционных грунтов и материалов для устройства морозозащитных слоев. В некоторых районах Пермского края таких грунтов и материалов нет. Дальность перевозки кондиционных песков составляет десятки и сотни километров.

Анализ состояния вопроса показывает, что известные методы и технологии на современном этапе являются затратными и в полной мере не обеспечивают устранения морозобойного растрескивания покрытия лесовозных автомобильных дорог

В зависимости от действия сил морозного пучения грунтов на сооружения различают два основных их вида - это нормальные и касательные силы. Нормальные силы морозного пучения грунтов действуют по нормалям к поверхностям сооружений, ограничивающих, сопротивляющихся или не допускающих увеличения объема грунтов при их промерзании. Основной сферой их действия являются основания дорог, где при определенных условиях возникнут нормальные вертикальные силы.

На величину нормальных сил морозного пучения грунтов оказывает влияние ряд факторов: свойства промерзающих грунтов (их дисперсность, адсорбционная способность, уровень свободной энергии поверхности частиц), сжимаемость подстилающих слоев грунта, внешнее давление на грунт и жесткость (деформируемость) строительных конструкций, воспринимающих пучения.

В теле земляного полотна возникают не только нормальные силы морозного пучения, но и касательные силы пучения, которые являются результатом действия грунтов, замерзающих у боковых граней искусственных сооружений и фундаментов.

Нормальные силы пучения значительно превосходят касательные. По экспериментальным данным они достигают 0,45 - 5,0 МПа, так на поверхности пылеватого песка они составляют 0,11 МПа, на поверхности суглинков - 0,43 МПа.

На основании вышеизложенного необходимо отметить следующее, что при выполнении рабочей документации по строительству и ремонту лесовозных дорог необходимо учитывать климатические и грунтовые условия, интенсивность перевозок.

В настоящее время выполняются экспериментальные исследования по разработке эффективной модели и технологии улучшения транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных дорог Пермского края.

Список литературы

1. *Абелев, М.Ю.* Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений [Текст]: учебное пособие / М.Ю. Абелев. М. –Стройиздат. 1973.
2. *Заварзин, Л.Г.* Слабые грунты на территории Санкт-Петербурга (Электронный источник: http://www.georec.spb.ru/journals/02/20/20.htm).
3. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах, Москва, 2004, Росавтодор.

05.23.11

А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова д.т.н., Б.С. Юшков к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,

Ухтинский государственный технический университет,
Ухта, oburmistrova@ugtu.net

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ МОРОЗОБОЙНОЙ ТРЕЩИНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В работе представлен метод определения ширины образования морозобойной трещины на поверхности автомобильных дорог.

Ключевые слова: *морозобойные трещины, автомобильные дороги, влажность грунта, замерзание грунта.*

Для разработки оптимальных конструкций дорожных одежд необходимо знать причину образования морозобойного растрескивания асфальтобетонного покрытия лесовозных автомобильных дорог (ЛАД) и правильно выбрать методы борьбы с данным явлением. Это позволит увеличивать межремонтные сроки службы дорожной конструкции и покрытия в целом и позволит прогнозировать улучшения транспортно-эксплуатационных показателей дорог с точки зрения безопасности дорожного движения и финансовых затрат на строительство, реконструкцию, ремонт и содержание ЛАД.

С целью организации исследований были проведены полевые и лабораторные исследования. В ходе экспериментов в полностью водонасыщенных глинистых грунтах фиксировался рост ледяных линз, однако этому всегда предшествовало образование трещин, причем в первоначальный момент в них не обнаруживалось влаги. Затем грунт в районе трещин темнел, трещины заполнялись водой, которая замерзала. Поверхность при этом членилась на отдельные блоки, растущие вверх.

Образование и рост трещин имело место в любых связных грунтах земляного полотна ЛАД при их промерзании. Особенности проявления этих процессов зависело от ряда причин, а именно типа грунта, его влажности и характера закрепления поверхности слоев. Так, тип грунта, а, следовательно, его физико-механические характеристики (прежде всего сцепление) сказываются на форме и размерах трещин. В глинах трещины в ходе промерзания имеют, по сравнению с суглинками, меньшие размеры и на своем протяжении часто отклоняются от прямой, т.е. имеет место процесс ветвления. Смерзание грунта со стенками зоны интенсивного влаго- и теплообмена ведет к снижению интенсивности процессов трещинообразования.

Из приведенных экспериментов следует, что рост трещин и разуплотнение грунта имеют место большей частью при его переходе в твердомерзлое состояние, что ярко выражается на участках сопряжений насыпей с выемками. Изучение зоны участков сопряжения насыпей с выемками свидетельствует о том, что деформации разуплотнения начинаются развиваться при формировании в толще дорожной конструкции вертикальной трещины. Промерзание связных грунтов сопровождается разрывами их сплошности на участке сопряжения насыпи с выемкой в осенний период и образованием морозобойной трещины на поверхности ЛАД.

Математически возможно разработать метод определения ширины образования данной морозобойной трещины. Для этого, из условий стационарного переноса тепла в слоях дорожной конструкции ЛАД воспользуемся уравнением теплопроводности, которое запишем следующим образом:

$$q = -[\lambda + (J_t - J_w)\kappa\rho_d\delta]\,\nabla t, \qquad (1)$$

$$\text{или:} \quad q = -\lambda_э \nabla t \quad (\text{при } \frac{\nabla W}{\nabla t} = -\delta), \tag{2}$$

где $\lambda_э$ – эквивалентный коэффициент теплопроводности влажного грунта,

$$\lambda_э = \lambda [1 + \frac{\kappa \rho_d \delta}{\lambda} (J_t - J_w)] . \tag{3}$$

Из (3) следует, что $\frac{\lambda_э}{\lambda} = I + \kappa_\lambda$, где κ_λ – безразмерный критерий теплопроводности влажного грунта,

$$\kappa_\lambda = \frac{\kappa \rho_d \delta}{\lambda} (J_t - J_w). \tag{4}$$

По физическому смыслу критерий теплопроводности влажного грунта выражает относительное увеличение коэффициента теплопроводности за счет переноса влаги:

$$\kappa_\lambda = \frac{\lambda_э - \lambda}{\lambda} = \frac{\nabla \lambda}{\lambda} \quad . \tag{5}$$

Влияние нарушения природной структуры глинистых грунтов, используемых при строительстве земляного полотна насыпи ЛАД, на коэффициенты теплопроводности и теплоёмкости до настоящего времени мало исследовалось. Однако, как косвенно свидетельствуют результаты наших экспериментальных исследований, при нарушении структуры глинистого грунта земляного полотна существенно снижаются коэффициенты теплопроводности и теплоёмкости.

Удельная теплоёмкость (c), рассчитанная на единицу массы влажного грунта, и приведённая удельная теплоёмкость ($\bar{c}$), рассчитанная на единицу массы абсолютно сухого грунта, определяются соотношением

$$c\rho = \bar{c}\rho_d = (c_0 + c_B \cdot W)\rho_d \tag{6}$$

Следовательно, объёмная теплоёмкость ($c\rho$) и приведённая удельная теплоёмкость ($\bar{c}\ \rho_d$) являются линейными функциями влажности.

Удельная теплоёмкость грунта (c) имеет следующую зависимость от влажности:

$$c = \frac{c_0 + c_B \cdot W}{1 + W} = \frac{\bar{c}}{1 + W} \quad . \tag{7}$$

В случае нестационарного переноса тепла критерий теплопроводности влажных грунтов (κ_λ) записывается в следующее виде:

$$k_\lambda = \frac{\lambda_э - \lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_w}{\bar{c}} (J_t \delta - J_w \frac{\partial W}{\partial t}). \tag{8}$$

Следовательно, при нестационарном переносе тепла критерий κ_λ для случая переноса влаги в жидкой фазе не равен нулю, так как

$$(\frac{\partial W}{\partial t})\tau = c_o \neq (\frac{\partial W}{\partial t})\tau,$$

где c_o – удельные теплоемкости абсолютно сухого грунта.

Поскольку критерий κ_λ прямо пропорционален критерию λ_w, то лишь при низких значениях $\lambda_w (\lambda_w « I)$ эквивалентный коэффициент теплопроводности близок к истинному ($\kappa_\lambda \cong 0$).

Предположив наличие линейной зависимости между истинным коэффициентом теплопроводности (λ) и влажностью грунта (W), критерий κ_λ можно определить на

основании экспериментальных данных, имея кривую зависимости $\lambda_э = f(W)$. Пользуясь этим методом для каждого грунта можно составить таблицу зависимости критерия κ_λ от влажности.

При малой влажности грунта перенос влаги будет происходить в основном в виде пара, поскольку удельное теплосодержание (τ_t) переносимой воды близко к теплосодержанию пара при данной температуре глинистого грунта рабочего слоя земляного полотна ЛАД. При высокой влажности грунта перенос влаги в основном будет происходить в жидкой фазе, так как удельное теплосодержание (τ_t) оказывается близким теплосодержанию воды.

Таким образом, для общего случая переноса влаги в глинистых грунтах земляного полотна ЛАД при переменной их влажности закон теплопроводности будет иметь следующий вид:

$$q = -\lambda \nabla t + J_n i_n + J_{ж} i_ж \quad , \tag{9}$$

где J_n и $J_ж$ – удельные теплосодержания пара и влаги; i_n и $i_ж$ – плотность потоков пара и влаги.

При рассмотрении математического описания процесса движения влаги на участках перехода насыпи в выемку и наоборот необходимо учитывать, что в сезоннопромерзающих грунтах миграция влаги происходит в двух физических состояниях: парообразном и жидком.

Анализ распределения полей влажности в нулевых отметках ЛАД при сезонном промерзании и оттаивании глинистых грунтов позволил установить, что интенсивное изменение влажности грунта происходит только непосредственно у фронта льдовыделения, в зоне 10…20 см. Причем закономерность изменения влажности грунта можно считать линейной.

Проведёнными экспериментальными исследованиями было доказано, что температура замерзания глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна определяется относительной влажностью замерзающего грунта и не зависит от числа пластичности.

При влажности грунта выше границы раскатывания промерзающая система будет открытой, а передвижение влаги к фронту промерзания происходит в жидкой фазе. При открытой системе миграции влаги к фронту промерзания описывается следующим выражением:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = k \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \quad , \tag{10}$$

при граничных условиях: $W(z;o) = W_o$;

$d_i = f(\tau)$;

$o \le d \le H$;

$W(W_H; \tau) = W_H$.

где W – влажность грунта; W_H – влажность соответствующая количеству незамерзающей воды при температуре замерзания; z – текущая координата глубины слоя грунта; d_i – толщина промерзшего слоя грунта; τ – время; H – глубина залегания подземных вод; k – коэффициент фильтрации.

Скорость миграции влаги к фронту льдовыделения будет зависеть от скорости промерзания грунта земляного полотна дорожной конструкции ЛАД. Данная зависимость оценивается из условий линейного распределения температуры по глубине промерзания дорожной конструкции и параболического закона изменения глубины промерзания. При скорости промерзания грунта

$$\vartheta_Z = \frac{d_1}{2\sqrt{\tau}} \tag{11}$$

и скорости миграции влаги к фронту промерзания

$$\vartheta_\tau = \frac{d_1 k_w \nabla t \psi_t \eta (W - W_{kp})}{2\sqrt{\tau} W_p} \quad (12)$$

соотношение скоростей составит

$$\vartheta_\tau / \vartheta_Z - A_\vartheta \ , \quad (13)$$

где A_ϑ .– параметр ритмичности влагопереноса характеризующий всасывающую способность промерзающего грунта, $A_\vartheta = k_w \nabla t \psi_t \eta \frac{(W - W_{kp})}{W_p}$; d_1 – теплофизический коэффициент, зависящий от климатических условий и теплофизических свойств грунта; τ – время; k_w – коэффициент содержания незамерзающей воды в мерзлом грунте,

$$k_w = W_{кр}/W_{пв}\,, \quad (14)$$

где $W_{пв}$ – полная влагоёмкость; ψ_t – коэффициент пропорциональности характеризующий зону пучения; η – коррелятивный параметр, зависящий от вида грунта; $W_{кр}$ – критическая влажность грунта, при которой содержание воды в замерзающем грунте не влияет на ее подвижность в нижележащем слое, определяется расчётом; для практических целей принимается $W_{кр} \cong W_р$, где влажности границы раскатывания.

Тогда закон нестационарного переноса влаги в грунтах будет иметь следующий вид:

$$i = i_n + i_{ж} = -kp_d \nabla W - kp_d \delta \nabla t\,, \quad (15)$$

где i – плотность общего потока влаги; k – коэффициент водонасыщения (влагопереноса) грунта; P_d – плотность сухого грунта; δ – термоградиентный коэффициент; ∇W – градиент влажности грунта; ∇t – градиент температуры грунта.

В связи с тем, что изменение влажности грунта в какой-либо точке массива грунта происходит не только за счет переноса жидкой влаги, но и за счет ее испарения или конденсации, используя выражение (15) плотность потока пара ($i_п$) следует заменить плотностью потока фазового превращения ($i_ф$), соответствующего количеству испарившейся влаги или же конденсирующего пара на единицу изопотенциальной поверхности за единицу времени,

$$i_ф = i_п = i - i_ж. \quad (16)$$

Для общего случая, когда $i = i_ж + i_п$, дифференциальное уравнение теплопереноса в нулевой точке на участке перехода дороги из насыпи в выемку примет вид

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \varepsilon \frac{\ell}{c} \frac{\partial W}{\partial \tau}\,, \quad (17)$$

где ℓ – удельная теплота парообразования.

Для случая трехмерного потока дифференциальные уравнения примет следующий вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \varepsilon \frac{\ell}{c} \frac{\partial W}{\partial \tau}\,, \quad (18)$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = k \nabla^2 W + k \delta \nabla^2 t\,, \quad (19)$$

где ∇^2 – оператор Лапласа, $\nabla^2 =. \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$

По глубине на участке сопряжения насыпи с выемкой происходит также перераспределение влажности, поэтому вертикальная составляющая градиента влажности $W_{ГВ}$ определим по следующему уравнению:

$$\nabla W_{ГВ} = \frac{W_1 - W_2}{z}\,, \quad (20)$$

где W_1 – влажность природного грунта по контакту с грунтом нарушенной структурой на глубине h от поверхности дороги; W_2 – влажность природного грунта на глубине h и расстоянии L от контакта с грунтом нарушенной структурой; z – зона образования морозобойной трещины.

При известных значениях температуры грунтов нарушенной и ненарушенной структур на расстоянии (L) от зоны образования морозобойной трещины возможно определить средние значения градиентов температуры по глубине, т.е. горизонтальные и вертикальные составляющие:

$$\nabla t_{ГВ} = \frac{t_1 - t_2}{L}, \tag{21}$$

где $\nabla t_{ГВ}$ – горизонтальная или вертикальная составляющая градиента температуры грунта на глубине h от поверхности проезжей части; t_1 – температура грунта выемки по контакту с грунтом насыпи; t_2 – температура грунта выемки на расстоянии (L) от зоны образования морозобойной трещины; L – ширина зоны интенсивного тепло- и водообмена в грунте, имеющем влажность W_1 и W_2.

Для случая связного переноса влаги в грунтовом массиве, составленном из природного грунта выемки и грунта с нарушенной структурой насыпи, воспользуемся системой дифференциальных уравнений и получим методику расчёта размера морозобойных трещин (z) на поверхности ЛАД в осенне-зимний период и ширины зон тепло- и водообмена (L) вблизи морозобойной трещины.

До нахождения размера морозобойной трещины определим величину относительной зоны образования морозобойной трещины (z'), которую с учётом экспериментальных данных, по выражению

$$z' = \frac{h_{пр}^{фак}}{2 \cdot \sqrt{1 + W_{фак} \cdot \sqrt{W_{фак} - W_{\min}}}} \cdot \ln \frac{\sqrt{W_{фак} - W_{\min}} + \sqrt{1 + W_{фак}}}{\sqrt{1 + W_{фак}} - \sqrt{W_{фак} - W_{\min}}} - \frac{h_{пр}^{фак}}{h_{пр} - h_{пр}^{факт}}, \tag{22}$$

где $W_{фак}$ – относительная влажность грунта, определяется как отношение W/W_L; $W_{\min}$ – влажность грунта по жидкой фазе в зоне первичного льдовыделения, %; $h_{пр}^{фак}$ – глубина промерзания грунта, $h_{пр}^{фак}$ = 186 см (по наблюдениям), $h_{пр}$ – нормативная глубина промерзания, $h_{пр}$ = 190 см (нормативная для территории Пермского края).

После проведённых расчётов относительная величина зоны образования морозобойной трещины составила 8.

В осенний период происходит интенсивное замерзание грунта земляного полотна. Поэтому ширина зоны интенсивного тепло- и водообмена в мёрзлом (талом) грунте на участках сопряжений насыпей и выемок, расположенной у границ с морозобойной трещиной, определяется по формуле

$$L = \frac{\left(W - W_{\min}\right) \cdot \left(\sqrt{\frac{1 + W}{W - W_{\min}}}\right) \cdot \lambda}{\left(1 + W\right) \cdot \left(1 + W_{\min}\right)}, \tag{23}$$

где λ – коэффициент теплопроводности (принят равным 1,75: 1,65 при относительной влажности грунта 0,83: 0,55: 0,61: 0,71 и коэффициенте уплотнения земляного полотна 0,95).

Были получены значения ширины зоны интенсивного тепло- и водообмена, расположенной в зоне контакта с морозобойной трещиной, влияющие на её размер: осенью в талом грунте для участка выемки она равна 0,77 м; весной в мёрзлом грунте выемки – 0,86 м и в талом грунте насыпи – 0,85 м.

Тогда ширину раскрытия трещины на поверхности дорожной конструкции ЛАД получим из выражения

$$z = \frac{L}{z'} \tag{24}$$

Ширина раскрытия морозобойной трещины, при температуре окружающей среды в интервале от – 20 ^{0} С до – 30 ^{0} С составила 9 – 12 см, что подтверждается экспериментальными данными.

Сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными показало, что интенсивное изменение влажности грунта в осенне-зимний период происходящее на участках сопряжения насыпей с выемками вызывает появление морозобойной трещины на поверхности асфальтобетонного покрытия ЛАД.

Список литературы

1. *Подольский, Вл.П.* Экологические аспекты зимнего содержания дорог [Текст]: учебное пособие / Вл.П. Подольский, Т.В. Самодурова, Ю.В. Федорова.– Воронеж: Воронежская государственная архитектурно-строительная академия, 2000.–152 с.

2. *Сиденко, В.М.* Эксплуатация автомобильных дорог [Текст]: учебное пособие / В.М. Сиденко, С.И. Михович. - М.: Транспорт, 1976. – 288 с.

05.11.16

П.А. Бурцев

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
кафедра ПР-1 «Приборы и информационно-измерительные системы»,
Москва, pal.co@mail.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗРЯДНОСТИ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ФАЗНЫХ ДАТЧИКОВ ТОКА НА КОЭФФИЦИЕНТ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ЗАМКНУТЫХ ПО КОНТУРУ ТОКА СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

В статье проведен анализ влияния разрядности аналого-цифровых преобразователей измерительных каналов фазных датчиков тока на коэффициент неравномерности вращения асинхронного электродвигателя в замкнутых по контуру тока системах управления. Приведены результаты моделирования и экспериментальных исследований с учетом влияния задержек в измерительном канале.

Ключевые слова: *коэффициент неравномерности вращения, датчик тока, асинхронный электропривод, измерительный канал.*

В настоящее время регулируемый асинхронный электропривод на базе цифровых систем управления получает все большее распространение в промышленности, расширяется область его применения. При разработке подобных устройств, наиболее ответственным этапом является отработка схемной реализации аппаратной части, в частности датчиков фазных токов, представляющих собой один из контуров обратных связей, который применяется в любой замкнутой системе управления электродвигателем.

Метрологические характеристики датчиков фазных токов, к которым относятся: разрядность АЦП, время преобразования и пропускная способность канала, оказывают существенное влияние на качество регулирования, как токового контура, так и системы управления в целом, ее устойчивость и стабильность удержания установившегося скоростного режима, что является основной задачей системы управления. Приводимые в технической литературе данные о необходимой разрядности АЦП ограничиваются 12–14 разрядами, при этом подразумевается использование преимущественно векторного модулятора (SVPWM), получившего в последнее время широкое распространение, а также не представлено влияние разрядности на качество систем управления в целом.

Одним из основных параметров при разработке, аттестации и сертификации электроприводного оборудования является коэффициент неравномерности вращения ротора электродвигателя. На установившемся режиме значение скорости вала будет варьироваться как в положительную, так и в отрицательную область относительно среднего значения, образуя колебания. Увеличение амплитуды этих колебаний сопровождается отклонением параметров разрабатываемой системы вплоть до полного ее ухода в разнос.

Величина амплитуды колебаний скорости Kn определяется разностью между максимальным (V_{MAX}) и минимальным (V_{MIN}) ее значениями. За меру измерения колебаний скорости, согласно ГОСТ 27803-91, в установившемся режиме принята относительная величина Kn:

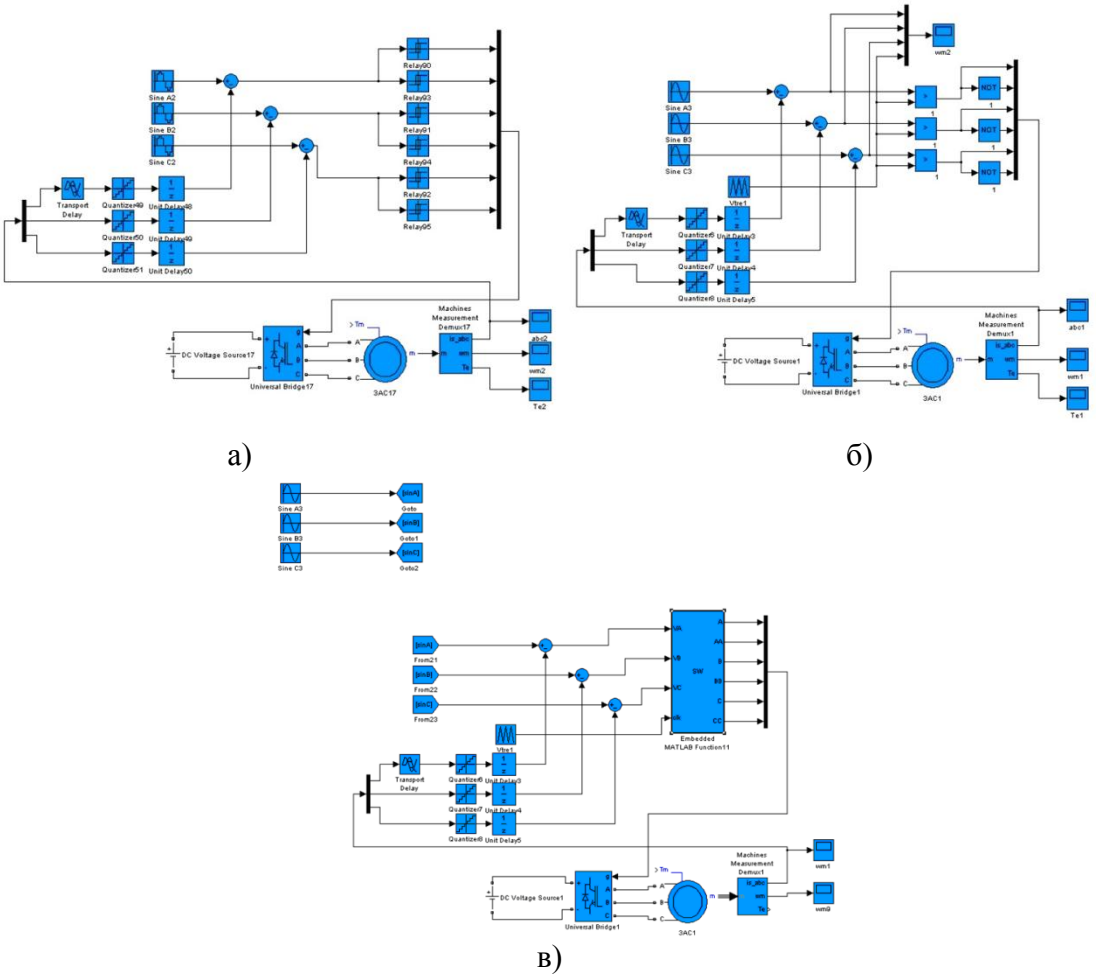
$$Kn = 2 \cdot \frac{V_{MAX} - V_{MIN}}{V_{MAX} + V_{MIN}};$$

При этом, ГОСТ 27803-91 устанавливает, что коэффициент неравномерности вращения вала электродвигателя определяется на установившемся режиме и при отсутствии нагрузки, т.е. на холостом ходу.

Для различного технологического оборудования, в зависимости от требований нормального функционирования (обрыв нитей в прядильных машинах, снижение чистоты поверхности в металлорежущих станках, нагрев обмоток и снижение КПД в электрогенераторах и т.д.) допускаются различные максимальные значения коэффициента изменения средней скорости вращения. Существующая нормативная документация устанавливает следующие допустимые значения коэффициента неравномерности для различного технологического оборудования: дробилки: 0,2–0,1; насосы: 0,05–0,03; металлорежущие станки нормальной точности: 0,05–0,01; металлорежущие станки прецизионные: 0,0025–0,001; электрогенераторы: 0,01–0,005; прядильные машины: 0,02–0,01.

Для экспертной оценки необходимой разрядности АЦП электроприводов различного назначения применялось имитационное и полунатурное моделирование. В среде Matlab были разработаны модели токовых контуров с использованием параметров реального асинхронного электродвигателя Siemens 1LA7060-4AB10, представленные на рисунке 1. Особенностью разработанных моделей, является введение в разрыв цепей обратных связей блоков имитации работы аналого-цифрового преобразователя Quantizer и формируемой, вследствие его работы, задержки Unit Delay. Блок Transport Delay необходим для определения пропускной способности токовых датчиков посредством имитации возможных задержек, возникающих вследствие его некорректной работы, или выхода из строя.

В случае моделирования токового контура необходимо учитывать влияние блока формирования выходной последовательности импульсов [1]. Основными вариантами реализации токовых контуров являются системы на базе синусоидальных модуляторов, векторных модуляторов и непосредственно контуров следящих систем на базе гистерезисных компараторов.



а) б)

в)

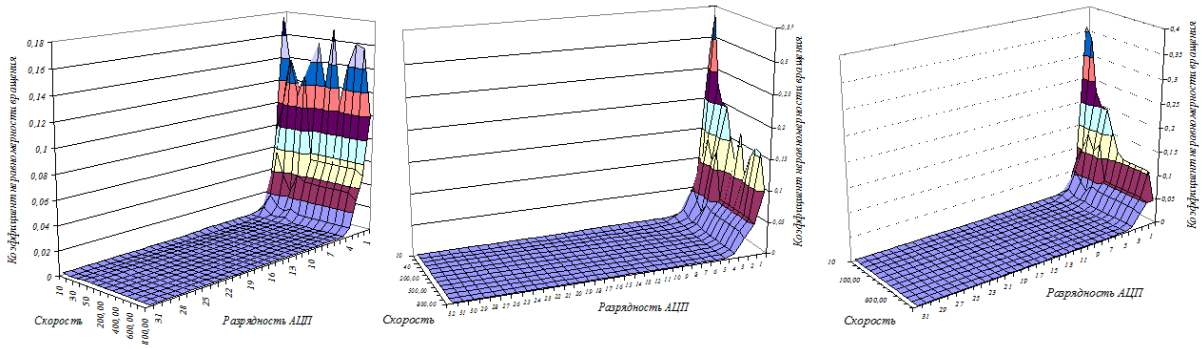
Рис. 1 – Модель токового контура системы управления в среде Matlab, реализованная на базе а) гистерезисного компаратора, б) синусоидального модулятора, в) векторного модулятора

Принцип работы синусоидальных модуляторов заключается в наложении модулируемого синусоидального сигнала на более высокочастотный сигнал треугольной формы, в результате чего получается последовательность импульсов, скважность которых изменяется по синусоидальному закону.

Принцип работы систем на базе гистерезисных компараторов сводится к удержанию фазного тока в рамках сформированного токового коридора, отходящего от задающего сигнала на величину гистерезиса в положительной и отрицательной области.

Принцип работы векторных модуляторов сводится к формированию результирующего вектора выходного тока инвертора посредством попеременной коммутации граничных векторов, формируемых отдельными фиксированными группами транзисторных ключей.

Несущая частота синусоидальной и векторной модуляции, а также полоса пропускания гистерезисного компаратора составляет 10 кГц. Моделирование проводилось при варьировании скорости вращения электродвигателя и разрядности аналого-цифрового преобразователя. По результатам моделирования было получено семейство кривых зависимости коэффициента неравномерности вращения от разрядности АЦП измерительного канала фазных датчиков тока для синусоидального, векторного модулятора и гистерезисного компаратора (рисунок 2).



а) б) в)

Рис. 2 – График зависимости разрядности АЦП от коэффициента неравномерности вращения для: а) гистерезисного компаратора, б) синусоидального модулятора, в) векторного модулятора

Полученное семейство кривых имеет убывающую экспоненциальную форму. Условно их можно разделить на три основные зоны. Зона спада имеет область до 3 разрядов. Работа системы управления в этой зоне технически нецелесообразна. Зона перегиба незначительна и занимает область от 4 до 6 разряда. Остальная часть – область насыщения, с которой работает любая система управления.

По представленным графикам можно заметить, что при разработке прецизионных систем управления электродвигателями на базе синусоидального модулятора, необходимо использовать АЦП с разрядностью не менее 14. Для систем обычной точности необходимо и достаточно 8 разрядов.

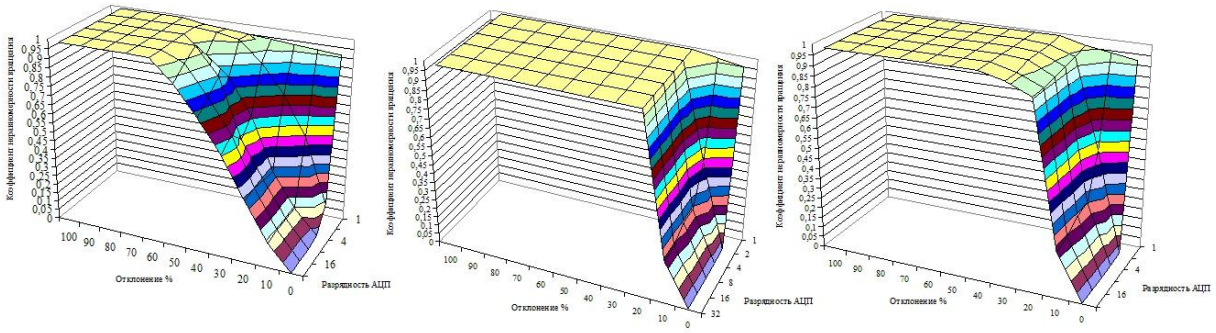
При разработке прецизионных систем управления электродвигателями на базе гистерезисного компаратора, необходимо использовать АЦП с разрядностью не менее 16. Для систем обычной точности необходимо и достаточно не менее 12 разрядов.

При разработке прецизионных систем управления электродвигателями на базе векторного модулятора, необходимо использовать АЦП с разрядностью не менее 14, так же, как и в случае синусоидального модулятора. Для систем обычной точности необходимо и достаточно использование 8–12 разрядов.

В системах управления как скалярных, так и векторных, при использовании замкнутых контуров слежения за фазными токами, немаловажным является установление значений максимально допустимых фазовых задержек токовых сигналов и определение их влияния на неравномерность вращения вала электродвигателя. На рисунке 3 представлены графики

зависимости разрядности АЦП от коэффициента неравномерности вращения при наличии отклонения токовых сигналов от периода фазы для синусоидального модулятора, векторного модулятора и гистерезисного компаратора.

Подобная зависимость актуальна при выходе из строя одного или нескольких фазных датчиков для определения расчетного времени до полного выхода в разнос токового контура, а также при определении оптимальной частоты дискретизации используемых в них АЦП. При этом, если в системе управления используются три датчика тока, при выходе из строя одного из них возможна дальнейшая работа устройства. Для этого снимаются показания имеющихся сенсоров, а значение третьего рассчитывается микропроцессорной системой управления из условия, что общая сумма будет равна нулю. Для этого необходимо периодически проверять состояние датчиков, а также следить за длительным удержанием нуля и выходом за максимальное значение измеряемого параметра.



а) б) в)

Рис. 3 – Зависимость коэффициента неравномерности вращения от разрядности АЦП при наличии задержек токовых датчиков в процентах от периода основной гармоники токового сигнала: а) для гистерезисного компаратора, б) для синусоидального модулятора, в) для векторного модулятора

Для проведения экспертной оценки полученных результатов при помощи полунатурного моделирования, был разработан блочно-модульный стенд для отработки алгоритмов управления асинхронными электродвигателями (рисунок 4). Основными требованиями при разработке которого были:

- обеспечение высокой разрешающей способности датчиков фазных токов и датчика скорости, полученные данные с которых можно искусственно загрублять в экспериментальных целях;
- высокая производительность и рабочая тактовая частота микропроцессорного устройства управления;
- максимальная помехозащищенность устройства, как от внешних, так и от собственных помех и как следствие, обеспечение гальванической развязки [2];
- блочно-модульный принцип построения с поддержанием скоростных промышленных сетей, обусловленный отработкой различных алгоритмов с различными объектами управления на базе устройства [3];
- обеспечение защит при возникновении аварийных ситуаций.

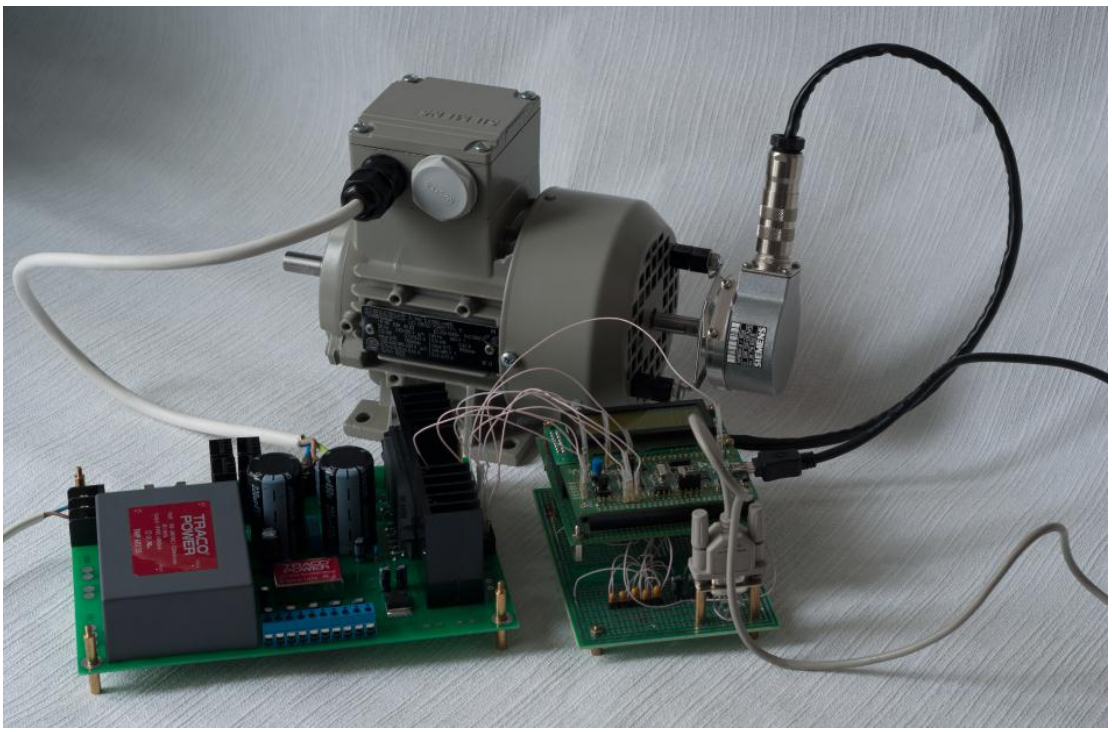


Рис. 4 – Внешний вид блочно-модульного стенда для отработки алгоритмов управления асинхронными электродвигателями

Разработанный стенд является аппаратной базой для исследования характеристик асинхронного электропривода при различных алгоритмах управления и экспериментального установления зависимостей, получение которых затруднительно путем имитационного моделирования.

Структурно стенд состоит из силовой части, управляющей части и датчиков фазных токов [4]. В основе его управляющей части лежит контроллер STM32F100RBT6T. Силовая часть строится на базе микросборки IGBT транзисторов IRAMY20UP60B, установленной на радиатор. В качестве датчиков тока используются ACS756KCA-050B на эффекте Холла. Обратную связь по скорости обеспечивает квадратурный энкодер Siemens 1XP8001-2 для управления устройством использовалась сеть RS-232 с выходом на COM-порт персонального компьютера и специализированное программное обеспечение, разработанное в среде LabView. Полученные с использованием стендового оборудования данные соответствуют выводам, сделанным по результатам моделирования.

Список литературы

1. *M. Malinowski*, "Adaptive modulator for three-phase PWM rectifier/inverter", in proc. EPE-PEMC Conf., Kosice, 2000.
2. *John R. Barnes*, Electronic system design: interference and noise control techniques, Englewood Cliffs, New Jersey 1990.
3. *Бурцев П.А., Грушичева М.В., Слепцов В.В.,* Особенности аппаратной реализации гальванически развязанных интерфейсов в составе модульных измерительных прецизионных систем и систем управления, Сборник научных трудов по материалам XIV Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения и информатики», Москва 2011.
4. *Бурцев П.А., Канаев С.А., Москаленко О.В.* Особенности аппаратной реализации стенда для исследования параметров информационно-измерительных систем управления асинхронными электроприводами, «Вестник молодых ученых МГУПИ» №9., Москва 2011.

05.11.16

П.А. Бурцев

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
кафедра ПР-1 «Приборы и информационно-измерительные системы»,
Москва, pal.co@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИНУСОИДАЛЬНОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯЦИЙ

В статье проводится сравнительный анализ традиционной синусоидальной и пространственно-векторной модуляции для управления электродвигателями переменного тока. Приведены результаты имитационного моделирования данных типов модуляторов и их влияние на выходной ток инвертора.

Ключевые слова: *пространственно-векторная широтно-импульсная модуляция, синусоидальная модуляция, силовой инвертор.*

В настоящее время все большее распространение получает регулируемый электропривод на базе трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. В основе принципа работы такого двигателя лежит закон электромагнитной индукции. Вращающееся магнитное поле статора пересекает проводники короткозамкнутой обмотки ротора, в которой наводится ЭДС, вызывающая протекание переменного тока. Ток ротора создает собственное магнитное поле, которое, взаимодействуя с полем статора, приводит к вращению ротора. Для образования вращающегося магнитного поля статора на обмотки двигателя подается синусоидальный ток, фазы которого смещены на 120º, а частота определяет скорость вращения поля, и как следствие, ротора. Для управления двигателем на частотах, отличных от частоты сети, применяется силовой инвертор.

Конструктивно он представляет собой мост на транзисторных ключах K1, K3, K5, подключенных к питанию (верхнее плечо), и K2, K4, K6, подключенных к земле (нижнее плечо), образующих три стойки, подключающиеся к фазам двигателя. На инвертор поступает постоянное напряжение с выпрямителя, а управляемые транзисторные ключи, последовательно подключая обмотки к земле и питанию, формируют в них переменный трехфазный ток заданной частоты и амплитуды. Для управления ключами силового инвертора, долгое время применялся синусоидальный модулятор, схема которого представлена на рисунке 1:

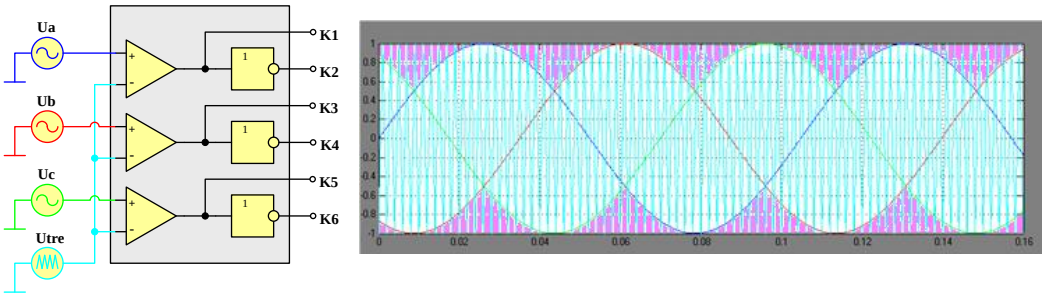


Рис. 1 – Схема трехфазного синусоидального модулятора

На вход синусоидального модулятора поступают три опорных сигнала Ua, Ub, и Uc, представляющие синусоиды, фазы которых смещены на 120º. Помимо опорных сигналов, на вход заводится треугольный сигнал Utre, являющийся несущей частотой (5…10 кГц). Блок компараторов осуществляет непрерывное сравнение синусоидальных опорных сигналов с треугольным сигналом несущей частоты. При превышении несущей уровня опорного

сигнала, выход соответственной фазы переключается в активное состояние, при снижении – отключается. Вследствие наложения опорных сигналов на несущую частоту образуется последовательность импульсов, скважность которых изменяется по синусоидальному закону.

С выхода блока компараторов снимаются сигналы управления транзисторными ключами силового инвертора. Во избежание короткого замыкания инвертора транзисторы верхнего и нижнего плеча всегда работают в противофазе [1].

Отношение амплитуды синусоидального опорного сигнала к размаху несущей обозначают индексом модуляции. Варьирование индекса модуляции меняет скважность выходного ШИМ-сигнала, тем самым, увеличивая или уменьшая выходное напряжение инвертора.

$$U_{vix} = \frac{U_{op}}{U_{tre}} \cdot U_{dc},$$

$$U_{vix} = m \cdot U_{dc}.$$

Где U_{op} – амплитуда опорного синусоидального сигнала;
m – индекс модуляции;
U_{dc} – напряжение питания инвертора.

Недостатком традиционной модуляции является использование выпрямленного напряжения инвертора только на 70–78 %. На графике заметны значительные промежутки между максимумами опорных синусоидальных сигналов Ua, Ub и Uc в положительной полуплоскости, а также между минимумами в отрицательной, которые выделены на рисунке. Они не используются в процессе формирования ШИМ, а их площадь отражается на снижении средней скважности и максимального выходного напряжения инвертора.

С целью повышения выходного напряжения инвертора, а как следствие увеличения крутящего момента двигателя, в качестве опорных сигналов применялись меандр и трапеция, также сдвинутые на 120º. Они давали больший выходной ток при том же индексе модуляции, однако приводили к искажению его синусоидальной формы. При этом увеличивалась вибрация электродвигательной установки, и возрастал коэффициент неравномерности вращения.

Если нейтраль электродвигателя изолирована, фазные токи зависят только от разности напряжений между фазами, следовательно, к опорным сигналам можно добавить дополнительный сигнал, который сделает форму синуса близкой к трапеции. При этом фазный ток будет иметь синусоидальную форму. Этот сигнал является сигналом нулевой последовательности.

Наиболее удачным вариантом стало использование в качестве сигнала нулевой последовательности треугольного сигнала третьей гармоники с амплитудой, составляющей 25 % от основного сигнала. Опорный сигнал стал иметь форму, близкую к трапецеидальной, благодаря чему сократились неиспользуемые в процессе формирования ШИМ площади между максимумами в положительной полуплоскости и минимумами в отрицательной, что обеспечило выигрыш в использовании максимального выпрямленного напряжения инвертором на 15…20 %.

На рисунке 2 представлена структурная схема пространственно-векторного модулятора (space-vector pulse-width modulation). На вход подаются сигналы с двухкоординатной системы управления. Они представляют собой две ортогональные синусоиды Va и Vb. Их амплитуда является индексом модуляции, частота пропорциональна частоте выходного тока инвертора, а очередность фаз определяет, в какую сторону будет вращаться мотор. Так же, как и в случае синусоидальной модуляции, необходим несущий треугольный сигнал Utre. Блок SVPWM формирует опорный сигнал модуляции с добавлением третьей гармоники, который, накладываясь на треугольный сигнал, дает последовательность импульсов для

управления транзисторными ключами стоек инвертора. По рисунку видно, как за счет введения сигнала третьей гармоники сократилась неиспользуемая площадь модуляции.

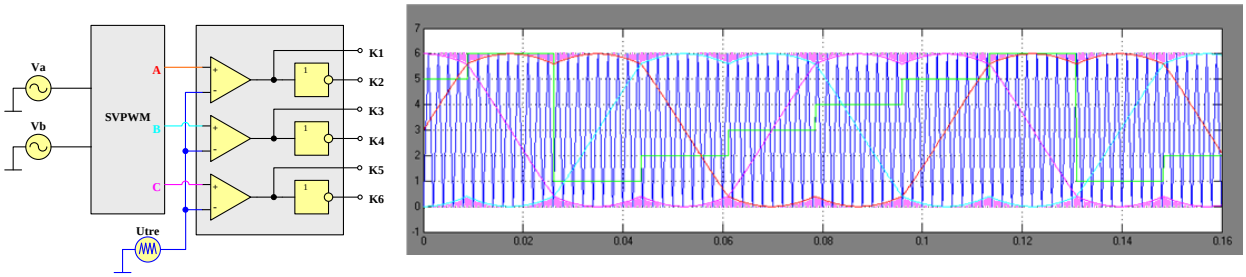


Рис. 2 – Схема формирования трехфазной пространственно-векторной ШИМ

Для формирования опорного сигнала сложной формы с введенной третьей гармоникой, его период разбивается на шесть частей или секторов. Внутри сектора, каждый из трех опорных сигналов находится либо в максимальном положении, либо в минимальном, либо переходит из максимального в минимальное. Разбиение на сектора упрощает процесс формирования опорного сигнала [2, 3].

На рисунке 3а представлен алгоритм работы блока SVPWM. Сначала он определяет текущий сектор по входным синусоидальным сигналам, а затем рассчитывает время работы транзисторных ключей за текущий сектор, формируя опорный синусоидальный сигнал с введенной третьей гармоникой. Текущий сектор работы инвертора может определяться разными способами, которые сводятся к разбиению периода опорного сигнала на шесть равных частей. Помимо представленного в алгоритме способа нахождения текущего сектора по двухфазным ортогональным входным сигналам, возможно, определить сектор по трехфазной последовательности Va, Vb и Vc (рисунок 3б):

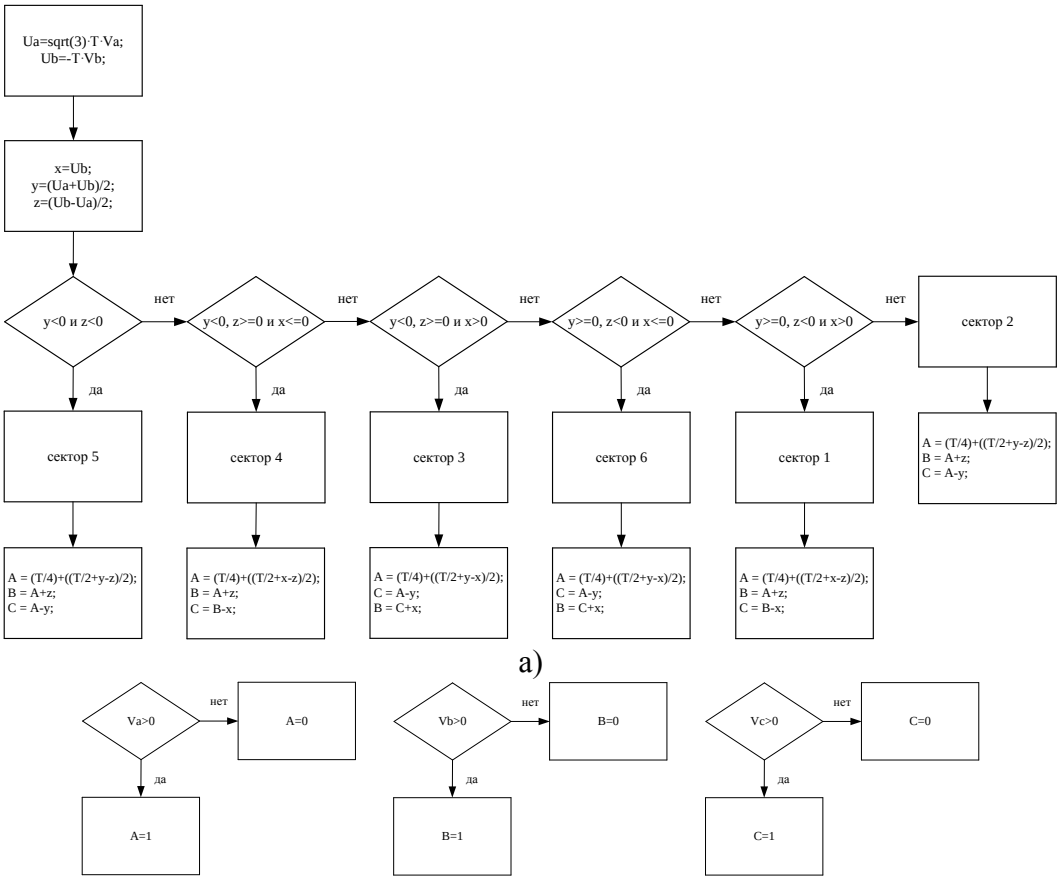


Рис. 3 – Блок-схема SVPWM

Где T – это период треугольного сигнала,
Ua Ub – индексы масштабирования входного сигнала,
x, y, z – коэффициенты для определения текущего сектора.

$$S = A + 2B + 4C;$$

Текущий сектор определяется по значению коэффициента S:

Таблица 1 – Определение сектора

S	1	2	3	4	5	6
Сектор	1	5	0	3	2	4

Основным преимуществом пространственно-векторной модуляции по сравнению с синусоидальной, является управление не отдельными транзисторными ключами, а использование их комбинаций. Так как ключи верхнего и нижнего плеча одной стойки работают в противофазе друг относительно друга, следовательно, образуется 2^3 комбинаций управления транзисторных ключей, подаваемых на силовой инвертор. Восемь комбинаций представляют собой граничные вектора, из которых два вектора являются нулевыми, коммутирующими обмотки на шину питания или на землю. Граничные вектора образуют 6 основных секторов с фиксированным положением ключей, в пределах которых формируется базовый вектор выходного напряжения. При переходе от одного вектора к другому свое состояние меняет только одна транзисторная стойка (рисунок 4).

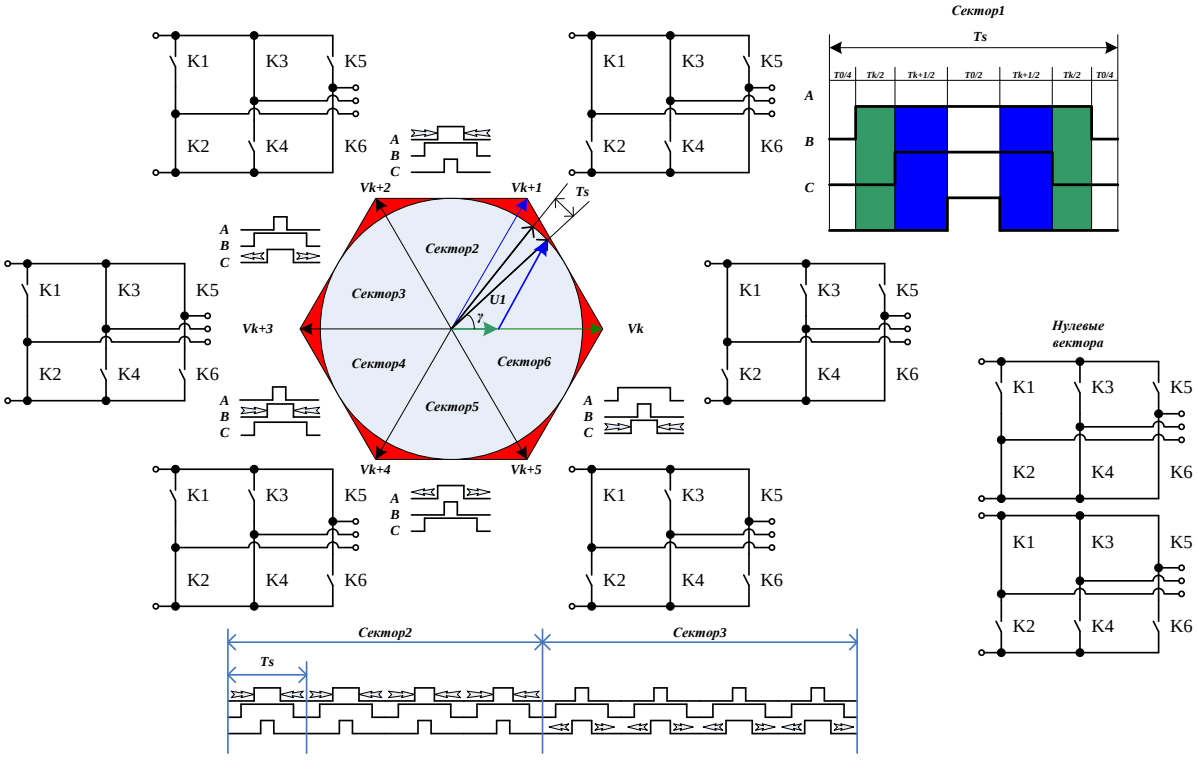


Рис. 4 – Принцип работы пространственно-векторной ШИМ

По круговой диаграмме видно, как формируется результирующий вектор U1 средствами двух граничных векторов Vk и Vk+1, образующих текущий сектор. Меняя время переключения транзисторных ключей, можно варьировать временем «включения» граничных векторов, при этом один из них постоянно уменьшает свое значение, а другой плавно увеличивает. Таким образом, результирующий вектор, который представляет собой

векторную сумму граничных векторов, будет перемещаться внутри текущего сектора, до тех пор, пока не наложится на один из граничных, который в текущем секторе постоянно увеличивался. В этом случае второй граничный вектор станет равен нулю. После этого произойдет переход в следующий сектор, где результирующий вектор станет отдаляться от граничного, на который только что наложился, уменьшая его значение. Количество положений результирующего вектора внутри текущего сектора определяется частотой треугольного опорного сигнала, период которого равен Ts, также как и при синусоидальной модуляции. Чем выше частота, тем больше положений результирующего вектора внутри каждого сектора, а диаграмма получается более круглой. Иначе, если переключать подряд все шесть граничных векторов, диаграмма примет форму шестиугольника, а результирующий вектор попадет в область перемодуляции. В таком случае выходной ток инвертора будет далек от синусоидальной формы, что скажется на вибрации, скачках момента при управлении и нагреве обмоток [4].

На рисунке рядом с каждым граничным вектором приведено соответствующее ему положение транзисторных ключей и временные диаграммы последовательности импульсов внутри каждого сектора. По приведенной осциллограмме заметно, что за проход одного сектора, скважность будет меняться только для последовательности импульсов одной фазы. При этом результирующий вектор имеет продолжительность:

$$U1 = \frac{1}{T_s} \cdot (T_{k+1} \cdot V_{k+1} + T_k \cdot V_k);$$

где $T_к$ и $T_{к+}1$ – соответственно времена переключения граничных векторов V_k и V_{k+1}

$$T_k = T_s \cdot \frac{|U1|}{U_{DC}} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(\frac{\pi}{3} - \gamma);$$

где U_{DC} – напряжение питания инвертора

$$T_{k+1} = T_s \cdot \frac{|U1|}{U_{DC}} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(\gamma);$$

$$T_0 = T_s(1 - T_{k+1} - T_k).$$

Для получения векторной диаграммы, представленной на рисунке 4, выходную трехфазную систему токов инвертора Ia, Ib и Ic можно представить в виде двухфазной ортогональной системы координат Id и Iq, с которой работает система векторного управления. Для этого необходимо выполнить преобразование Кларка.

$$Id = Ia;$$
$$Iq = (Ia + 2Ib)/\sqrt{3};$$

Раскладывая токи ортогональной системы на оси декартовой системы координат, получаем круговую диаграмму выходного тока.

По сравнению с синусоидальной модуляцией, пространственно-векторная имеет меньший коэффициент пульсаций при большем размахе выходного тока инвертора, кроме того, она обладает большим линейным диапазоном зависимости индекса модуляции от выходного тока, а в реализации на современной элементной базе не сложнее традиционной. Эти черты делают пространственно-векторную модуляцию в настоящее время все более популярной в управлении электродвигателями.

Список литературы

1. *M. Malinowski* "Adaptive modulator for three-phase PWM rectifier/inverter", in proc. EPE-PEMC Conf., Kosice, 2000.
2. *F. Blaschke,* "The principle of fiels-orientation as applied to the Transvector closed-loop control system for rotating-field machines", in Siemens Reviev 34, 1972.
3. *K. Vinoth Kumar, Prawin Angel Michael, Joseph P. John and Dr. S. Suresh Kumar*, «Simulation and comparison of spwm and svpwm control for three phase inverter». ARPN journal of engineering and applied sciences. 2010.
4. *Do-Hyun Jang, and Duck-Yong Yoon*, «Space-vector PWM techniques for two phase inverter fed two phase induction motor», IEEE Trans. On industry applications. 2003.

05.12.14

В.И. Воловач к.т.н.

Поволжский государственный университет сервиса,
кафедра информационного и электронного сервиса
г. Тольятти, ssunrise@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ НА ФОНЕ ВНУТРИПРИЕМНОГО ГАУССОВСКОГО ШУМА

Рассмотрены особенности обнаружения и определены вероятности правильного обнаружения сигналов с различными параметрами на фоне внутриприемного гауссовского шума на входе приемников радиотехнических устройств обнаружения ближнего действия. Показано, что решение о достоверности сигнала обнаружения, отраженного от протяженного объекта, на входе приемника выносится путем анализа отношения правдоподобия.

Ключевые слова: *задача обнаружения и различения сигналов, зондирующий сигнал, отношение правдоподобия, пороговое напряжение, критерий Неймана-Пирсона.*

В радиотехнических устройствах обнаружения (РУО) ближнего действия реализуется принцип радиолокации на ближних расстояниях [1], исходя из этого, задача обнаружения и различения сигналов на фоне шума в РУО и, следовательно, задача обнаружения объекта в пределах зоны контроля, сводится к обнаружению отраженного от этого объекта зондирующего сигнала $u_C(t, \lambda)$ на фоне помехи $u_П(t)$, т.е. к анализу принятого колебания $u_{ПР}(t)$:

$$u_{ПР}(t) = \theta u_C(t,\lambda) + u_П(t), \quad 0 \le t \le T, \tag{1}$$

где θ – случайная величина, принимающая только два значения: при $\theta = 1$ в выходном сигнале присутствуют сигнал $u_C(t, \lambda)$ и помеха $u_П(t)$, при $\theta = 0$ в выходном сигнале присутствует только помеха $u_П(t)$; T – время работы РУО.

Зондирующий сигнал $u_C(t, \lambda)$ представляет собой обычно детерминированную и известную функцию аргументов t и λ [2]. Параметры $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_k\}$ являются параметрами, определяющими функционирование системы обнаружения, т.н. существенные параметры. Для реализации функции обнаружения, в частности в охранных системах, рассматривают как параметры самого радиосигнала (амплитуда, частота и т.п.), так и параметры, представляющие обнаруживаемый объект (размеры объекта, площадь отражающей поверхности, наличие «блестящих» точек и т.п.) и характер его движения в пределах зоны обнаружения (дальность до объекта, скорость, ускорение, направление, траектория движения).

Следует отметить, что решение задачи обнаружения отраженного от объекта зондирующего сигнала на фоне помехи (1), а также оценка параметров этого сигнала, позволяют определить вероятности правильного и ошибочного принятия решений, а также связанный с ними показатель оптимальности обнаружения устройства.

Для простоты дальнейшего анализа предположим, что сигнал $u_C(t,\lambda) = u_C(t)$ зависит только от одного непрерывного параметра λ, имеющего априорную плотность вероятности $P(u_C)$. Апостериорная плотность вероятности определяется $P(u_C / u_{ПР})$ и представляет собой апостериорную вероятность отражения зондирующего сигнала от обнаруживаемого объекта.

Задача обнаружения протяженных объектов для случая обнаружения сигналов с известными, детерминированными параметрами была рассмотрена автором ранее [3 – 5]. Поэтому в дальнейшем задачу обнаружения протяженных объектов будем рассматривать как задачу обнаружения сигналов со случайными параметрами, что соответствует практически важным случаям реализации РУО. В дальнейших рассуждениях воспользуемся общими подходами к решению задачи обнаружения, изложенными, например, в [6].

Предположим, что сигнал представляет собой произведение некоторой случайной величины θ согласно (1) на известную функцию времени $u_C(t)$. Пусть также сигнал смешивается с аддитивной помехой $u_П(t)$. По результирующему воздействию необходимо принять решение о наличии или отсутствии сигнала $u_C(t)$ на входе приемника РУО, т.е. определить наличие обнаруживаемого объекта. Воздействие (1) на входе приемника при условии непрерывности единственного существенного (т.е. подлежащего анализу при приеме) параметра λ представим в следующем виде

$$u_{ПР}(t) = \theta u_C(t) + u_П(t), \quad 0 \le t \le T. \tag{2}$$

Пусть, как и в случае детерминированного сигнала, помеха является белым гауссовским шумом (БГШ), поскольку такой шум возникает вследствие тепловых и других шумов приемного устройства и окружающего пространства. Предположим, что шумы приемного устройства значительно превосходят шумы окружающего пространства, и примем, что напряжение аддитивной помехи $u_П(t)$ представляет собой внутриприемный шум. В результате названных предположений становится возможным аддитивный широкополосный гауссовский шум рассматривать как белый гауссовский шум (БГШ).

Для плотности вероятности мгновенных значений внутриприемного шума $u_П(t)$ справедлива запись в виде закона нормального распределения вероятностей:

$$p(u_П) = \beta \exp\left[-\frac{1}{W_П} \int_0^T u_П^2(t) dt \right], \tag{3}$$

в котором $\beta = \left[1/\sqrt{2\pi}\,\sigma_П\right]^n$ – коэффициент пропорциональности; n – число дискрет, определяющих функцию $u_П(t)$; $W_П$ – мощность помех, приходящаяся на единицу полосы частот.

Перейдем непосредственно к решению задачи обнаружения сигналов со случайными параметрами. Если в сигнале, обрабатываемом приемником РУО, информация о скорости объекта отсутствует, то согласно [2] это означает, что зондирующий сигнал с постоянной амплитудой U_m и несущей частотой ω на входе приемника будет иметь неизвестное доплеровское смещение частоты $\omega_Д$ так, что

$$u_C(t) = U_m \cos(\omega t + \omega_Д t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_C). \tag{4}$$

Заметим, что в выражении (4) амплитуда сигнала U_m может принимать два значения: $U_m = U_{mC}$ – при наличии сигнала и $U_m = 0$ при его отсутствии. Другими словами, амплитуда U_m ведет себя аналогично величине θ в выражениях (1) и (2).

Поскольку дополнительная фаза сигнала φ_C является неизвестной случайной величиной, то принятие правильного решения в этом случае можно интерпретировать как задачу обнаружения сигнала со случайной начальной фазой. При этом фаза сигнала φ_C характеризуется равномерным законом распределения $p(\varphi_C) = 1/(2\pi)$. Сигнал смешивается с аддитивной помехой в виде БГШ. Входное воздействие, полученное на основании (2) и (4), запишем в виде:

$$u_{СП}(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_C) + u_П(t). \tag{5}$$

По принятому РУО воздействию $u_{ПР}(t)$, следует установить наличие в нем полезного сигнала, для чего, в свою очередь, определяют соответствующие функции правдоподобия, а также отношение правдоподобия.

Функция правдоподобия [2] представляет собой плотность вероятности того, что на вход приемника РУО поступает воздействие $u_{ПР}(t)$ при условии передачи сигнала $u_{Ci}(t)$, следующим образом: $L(u_{Ci}) = p(u_{ПР} / u_{Ci})$. В радиолокационных приложениях $u_{Ci}(t)$ определяется величиной θ: $u_{Ci}(t) = \theta u_C(t)$. В рассматриваемом случае согласно (2) $u_{ПР} = u_{Ci} + u_П$; при этом для упрощения сигнал и помеха считаются взаимнонезависимыми.

Если принятое воздействие $u_{ПР}(t)$ представляет собой непрерывный случайный процесс, наблюдаемый в дискретных временных точках t_i (при $i = \overline{1,n}$), то можно перейти к условной плотности вероятности $p(u_{ПР} / u_{Ci})$, которая должна равняться плотности вероятности того, что помеха принимает значение $u_П = u_{ПР} - u_{Ci}$. С учетом последнего замечания функция правдоподобия принимает вид: $L(u_{Ci}) = p(u_{ПР} / u_{Ci}) = p(u_{ПР} - u_{Ci}) = p(u_П)$ [6].

Обозначим $L(u_{C1}) = L(U_{mC})$ для случая, когда сигнал присутствует в принимаемом колебании. Учитывая результаты (4) [5], также [6], запишем

$$L(U_{mC}, \varphi_C) = \beta \exp\left[-\frac{1}{W_П} \int_0^T \left[u_{ПР}(t) - U_{mC} \cos(\omega t + \varphi_C) \right]^2 dt \right]. \qquad (6)$$

Выражение (6) представляет собой функцию правдоподобия относительно параметров U_{mC} и φ_C. Отметим, что фаза φ_C не несет полезной информации о существовании сигнала. Выражение функции правдоподобия при наличии и отсутствии сигнала рассматривались автором ранее, например в [3].

В самом общем случае отношение правдоподобия для области сигнала определяют выражением [5]

$$l(u_{ПР}) = \frac{L(u_{C1})}{L(u_{C0})} > \frac{P(u_{C0})}{P(u_{C1})} = \gamma, \qquad (7)$$

где $P(u_{C0})$ – априорная вероятность отсутствия сигнала от обнаруживаемого объекта; $P(u_{C1})$ – априорная вероятность наличия такого сигнала.

Если $l(u_{СП}) > \gamma$, то можно считать, что принятое РУО воздействие $u_{ПР}(t)$ содержит наряду с помехой u_{C0} сигнал от обнаруживаемого объекта u_{C1}. В противоположном случае $u_{ПР}(t)$ принадлежит только помехе u_{C0}.

Если в выражении (7) отношение правдоподобия окажется больше порога γ, то, так же как и при воздействии на РУО детерминированного сигнала [5], должен быть сделан вывод о сигнале обнаружения на входе приемника РУО, т.е. присутствии обнаруживаемого объекта. В соответствии с выбранным критерием обнаружения находится величина порога γ, которая в общем виде определяется выражением (7). Как правило, в системах охраны, как и в ряде других радиолокационных приложений, используют критерий Неймана-Пирсона, который, согласно [4], позволяет получить максимальную вероятность правильного обнаружения объекта. Вероятность ложных обнаружений в этом случае задают постоянной и достаточно малой.

Итак, для решения задачи обнаружения должно выполняться очевидное неравенство $l(u_{ПР}) > \gamma$. Учитывая сказанное и используя результат (7) [5], после преобразования приходим к выражению, определяющему структуру оптимального приемника РУО, позволяющему связать введенную выше величину порога γ с величиной $u_{ПОР}$ порогового напряжения приемника РУО:

$$\frac{2}{W_П}\int_0^T u_C(t)u_{ПР}(t)dt > \ln\gamma + \frac{W_C}{W_П} = u_{ПОР}\ . \qquad (8)$$

В [7] проведен детальный анализ определения величины порогового напряжения. В случае, когда решение о наличии объекта в зоне контроля принимается в соответствии с критерием Неймана-Пирсона, величина $u_{ПОР}$ определяется заданной вероятностью ложного обнаружения $P(u_{C1}/u_{C0})$:

$$u_{ПОР} = \bar{u}_{ВЫХ.АД}\Big|_{q^2_{АД}=0} + \sigma_{ВЫХ.АД}\Big|_{q^2_{АД}=0} * \Phi^{-1}(1-F), \qquad (9)$$

где $\bar{u}_{ВЫХ.АД}, \sigma_{ВЫХ.АД}$ – среднее значение и дисперсия выходного напряжения амплитудного детектора; $q^2_{АД}=0$ – отношение сигнал/шум по мощности на входе детектора; $\Phi^{-1}(x)$ – функция, обратная интегралу вероятностей.

В свою очередь связь величины напряжения порогового уровня $u_{ПЛН}$ с вероятностью правильного обнаружения D, пропуска $1–D$ и ложного срабатывания F будет определяться выражениями:

$$F = \int_{U_п}^{\infty} W(u_{ВЫХ.АД})\Big|_{q^2=0} du_{ВЫХ.АД}\Big|_{q^2=0} = 1 - \Phi\left\{\frac{u_п - \bar{u}_{ВЫХ.АД}\Big|_{q^2=0}}{\sigma_{ВЫХ.АД}\Big|_{q^2=0}}\right\}, \qquad (10)$$

$$1 - D = \int_{-\infty}^{U_п} W(u_{ВЫХ.АД})du_{ВЫХ.АД} = \Phi\left[(u_п - \bar{u}_{ВЫХ.АД})/\sigma_{ВЫХ.АД}\right], \qquad (11)$$

где Φ – интеграл вероятности.

Исходя из используемого критерия Неймана-Пирсона и приведенных выражений (9), (10), определяют пороговое значение, которое сравнивают с полученным отношением правдоподобия. Вероятность правильного обнаружения, в этом случае представлена выражением [5]

$$P_1(u_{C1}/u_{C1}) = \int_{u_{ПОР1}}^{\infty} \xi \exp\left[-0{,}5\left(\xi^2 + 2W_C/W_0\right)\right] I_0\left[\xi(2W_C/W_0)^{0{,}5}\right] d\xi\ , \qquad (12)$$

где $u_{ПОР1} = u_{ПОР}(2W_C/W_0)^{-0{,}5}$ – новый уровень порога обнаружения.

Если предположить, что обнаруживаемый объект является протяженным (случай характерный при работе РУО на ближних дальностях), то, как показано в [6], амплитуда отраженного сигнала за счет явления интерференции также является случайным процессом. В результате сигнал на входе приемника можно рассматривать как случайный с флюктуирующими не только фазой, но и амплитудой

$$u_{C\xi}(t) = U_\xi \cos(\omega t + \varphi_C)\ . \qquad (13)$$

Если для определенности предположить, что амплитуда флюктуирует по закону Релея [6], тогда из анализа [5] следует, что вероятность правильного обнаружения будет рассчитываться по формуле

$$P_2(u_{C1}/u_{C1}) = \exp\left\{-0{,}5u^2_{ПОР1}\left[1 + \sigma^2_C(2W_{C1}/W_0)\right]^{-1}\right\}, \qquad (14)$$

где $W_{C1} = W_C \Big/ \left\langle u_{ПР\xi}(t)\right\rangle^2$.

Если требуется сравнить характеристики обнаружения сигналов с флюктуирующей и сигналов с не флюктуирующей амплитудой, то естественно производить такое сравнение надо для случая, когда средняя энергия обоих сигналов одинакова. Тогда вероятность правильного обнаружения можно записать в виде [5]:

$$P_2\left(u_{C1}/u_{C1}\right)=\left[\exp\left\{-u_{ПОР1}^2/2\right\}\right]^{-(1+W_C/W_0)}. \quad (15)$$

В результате проведенного анализа можно говорить о том, что приемник РУО в рабочем режиме находится под воздействием аддитивного широкополосного гауссовского шума, который можно рассматривать как белый гауссовский шум.

Получены выражения для определения функции и отношения правдоподобия для случая обнаружения сигналов со случайными параметрами при использовании критерия Неймана-Пирсона. Приведены выражения для вероятности правильного обнаружения объекта в случае флюктуации как фазы, так и амплитуды сигнала, т.е. для случая обнаружения протяженного объекта.

Список литературы

1. *Шелухин О.И.* Радиосистемы ближнего действия. – М. : Радио и связь, 1989. – 238 с.
2. *Тихонов В.И., Харисов В.Н.* Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.
3. *Воловач В.И.* К вопросу определения структуры приемника радиотехнических устройств обнаружения пространственных охранных систем // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей IX Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2011. С. 24-29.
4. *Воловач В.И., Гурина Е.В.* Некоторые особенности оптимальной обработки сигналов радиотехнических устройств обнаружения пространственных охранных систем // Научно-технический вестник Поволжья. – № 6, 2011. С. 129-132.
5. *Воловач В.И., Гурина Е.В.* Решение задачи обнаружения детерминированных сигналов радиотехнических датчиков, работающих в режиме активной локации, и определение величины их порогового напряжения // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2012): сб. статей II международной заочной научно-технической конференции. Ч. 1 / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти : Изд-во ПВГУС, 2012. С. 324-331.
6. Радиотехнические системы: учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов [и др.]: под ред. Ю. М. Казаринова. – М. : Высш. шк., 1990. – 496 с.
7. *Воловач В.И.* Характеристики обнаружения радиотехнических устройств охраны и повышение эффективности их работы посредством адаптации к изменяющейся помеховой обстановке // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2011. Т. 5, №2. С. 27-29.

05.12.04

[1]В.В. Воронин к.т.н., [2]П.М. Поморцев к.т.н., [3]А.А. Кузнецов к.т.н., [4]А.А. Мотыко

[1]ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса»,
г. Шахты, voronin_sl@mail.ru

[2]Федеральное государственное унитарное предприятие
«Научно-производственное объединение «Техномаш»,
г. Москва, pomortsevpm@mail.ru

[3]Федеральное государственное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военный авиационный инженерный университет»,
г. Воронеж, smithaa@yandex.ru

[4]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург, motyko.alexandr@yandex.ru

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВИДЕОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО ДВУМЕРНОГО МЕТОДА РАЗМНОЖЕНИЯ ОЦЕНОК

В статье представлен новый адаптивный двумерный метод размножения оценок для фильтрации динамических изображений, который основан на адаптации к яркостным изменениям изображения, то есть определения областей квазистационарности и вычисления оценки в каждой области с помощью аппроксимации поверхностью первого порядка двумерным методом наименьших квадратов. Представлены результаты исследований адаптивного двумерного метода размножения оценок при обработке динамических изображений в условиях ограниченного объема априорных данных о полезной и случайной составляющих.

Ключевые слова: *видеосигнал, адаптация, фильтрация, размножение оценок.*

В процессе передачи динамического изображения в канале связи на него воздействуют различные помехи, которые осложняют визуальный и особенно автоматический анализ. Математические модели взаимодействия полезной и шумовой составляющей можно разделить условно на три группы: аддитивные, мультипликативные и смешанные или комбинированные [1-3]. Одной из основных моделей шумов является аддитивный шум с гауссовской плотностью распределения, нулевым математическим ожиданием и постоянной дисперсией. Для сглаживания зашумлённой полезной составляющей, существует большое количество различных методов, применение которых зависит от выбранной адекватной математической модели изображения и шума.

Отсутствие априорной информации существенно усложняет процесс обработки изображений, и в ряде случаев делает его невозможным без наличия визуального контроля [4].

При решении задач сглаживания изображений с целью ослабления действующих аддитивных помех, рассматривается модель динамического изображения, которая представляет собой двумерную дискретную последовательность $Y_{i,j}^{(k)}, i=\overline{1,N}, j=\overline{1,M}, k=\overline{1,K},$ вида:

$$Y_{i,j}^{(k)} = S_{i,j}^{(k)} + \eta_{i,j}^{(k)}, \quad i=\overline{1,N}, j=\overline{1,M}, k=\overline{1,K}, \qquad (1)$$

где $S_{i,j}^{(k)}$ – полезная двумерная составляющая (исходное неискаженное изображение), $\eta_{i,j}^{(k)}$ - аддитивная шумовая составляющая, N - количество строк, M - количество столбцов двумерного массива изображения, K - количество кадров двумерного массива динамического изображения.

В данной работе предлагается использовать обобщение двумерного метода размножения оценок на видеосигналы [5]. Предлагается использовать адаптивный двумерный метод размножения оценок при обработке динамических изображений, который основан на адаптивном разбиении исходного кадра видеопоследовательности на области с последующей аппроксимацией двумерного сигнала поверхностями первого порядка в каждой из этих областей [6].

Для формирования адаптивных областей двумерного сигнала для каждого значения пикселя задаются восемь направлений $h=\overline{1,8}$ (рис. 1), в которых определяются интервалы квазистационарности. Условие квазистационарности проверяется с помощью вычисления случайной величины τ, равной сумме числа инверсий значений пикселей в каждом их восьми направлений двумерного сигнала $Y_{i,j}$, $i=\overline{1,N}$, $j=\overline{1,M}$ [7].

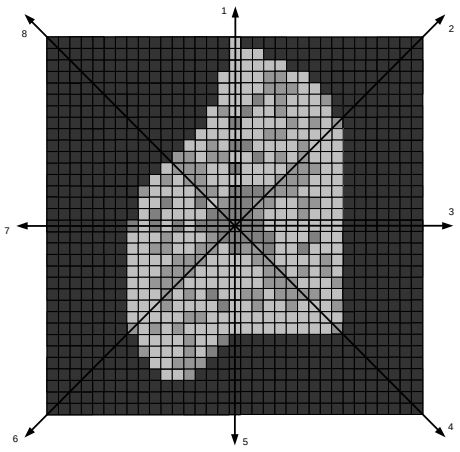


Рисунок 1 - Направления для определения интервалов квазистационарности на изображении

Гипотеза о квазистационарности сигнала принимается, если $c_2 \le \tau_d \le c_1$, где α - априорно задаваемое значение ошибки первого рода. По полученным границам интервалов для каждого из восьми секторов, образованных направлениями 1-2, 2-3, 3-4, 5-6, 7-8, 8-1 формируются области квазистационарности. Для этого используется линейная интерполяция границ смежных интервалов уравнением прямой проходящей через две точки.

Значения пикселей, попавшие между всеми направлениями и интерполирующими прямыми проходящими через границы интервалов квазистационарности, объединяются в одну область Ω и аппроксимируются поверхностью первого порядка вида $\tilde{S}_{i,j}=(A\cdot i+B\cdot j+C)\cdot\omega_{\mathrm{i,j}}$, где $\omega_{\mathrm{i,j}}$, $i=\overline{1,2\cdot R-1}$, $j=\overline{1,2\cdot R-1}$ значения бинарной маски, которая принимает значения равные [5]:

$$\omega_{\mathrm{i,j}}=\begin{cases}1, & i,j\in\Omega\\ 0, & i,j\notin\Omega\end{cases},\ i=\overline{1,2\cdot R-1},\ j=\overline{1,2\cdot R-1}. \qquad (2)$$

Значения коэффициентов *A, B* и *C* определяются с помощью двумерного метода наименьших квадратов, для нахождения которых минимизируется целевая функция вида:

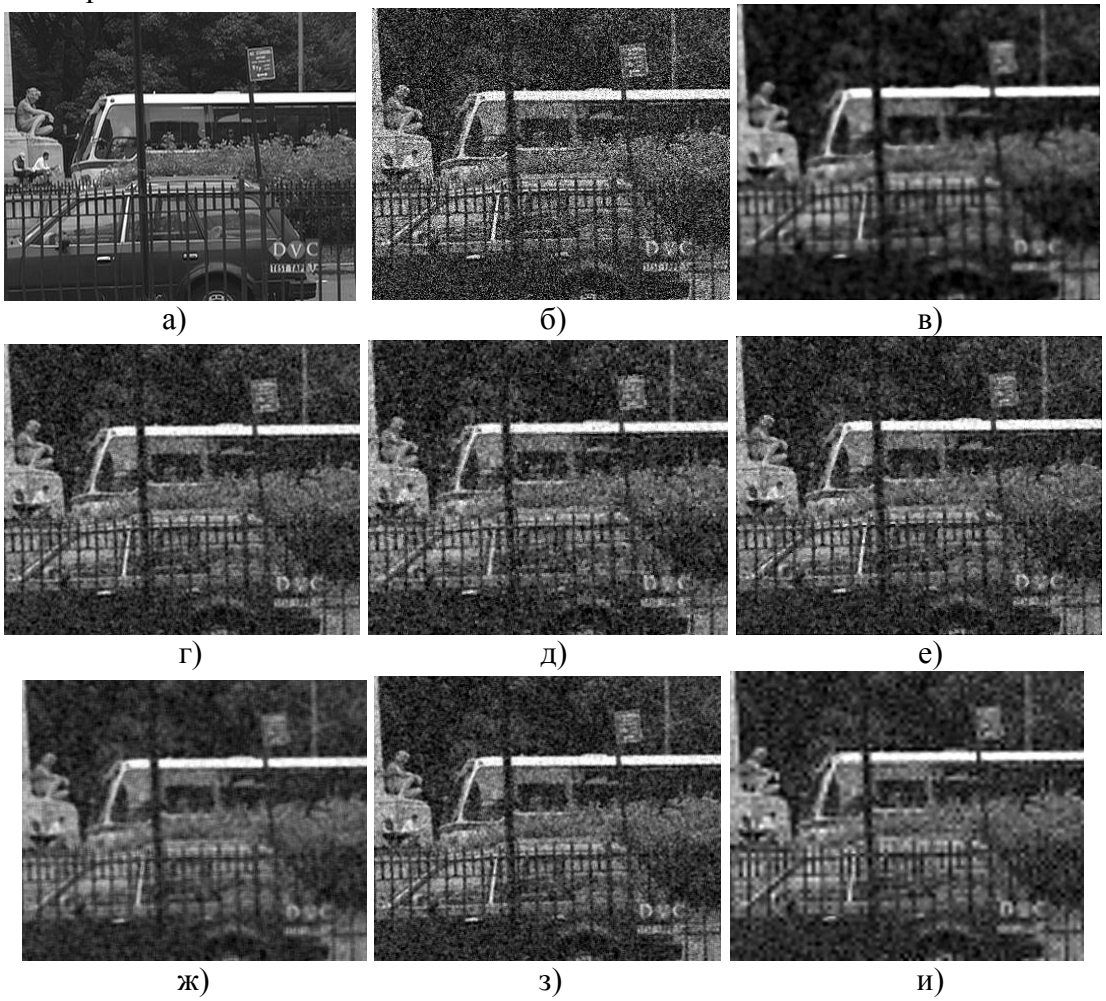
$$\sum_{i=1}^{2\cdot R-1}\sum_{j=1}^{2\cdot R-1}((Y_{i,j}-A\cdot i-B\cdot j-C)\cdot\omega_{\mathrm{i,j}})^2\to\min \qquad (3)$$

Выражения для вычисления коэффициентов A, B и C и представлены в работах [5-6].

Процедура получения области Ω и вычисление оценки $\tilde{S}_{i,j}$ повторяется для каждого значения пикселя $Y_{i,j}$, $i=\overline{1,N}, j=\overline{1,M}$, при этом формируется весовая функция $W_{i,j}$, $i=\overline{1,N}, j=\overline{1,M}$, значения которой равны количеству размноженных оценок для каждого пикселя. Результирующая оценка изображения $\bar{S}_{i,j}$, определяется как среднее арифметическое размноженных адаптивных оценок.

На рисунке 2 представлены результаты обработки тестового кадра Bus при $\sigma_{ш}=50$ (а – исходное изображение; б – зашумленное изображение, в – адаптивный двумерный метод размножения оценок, г – фильтр скользящего среднего, д – фильтр серединной точки, е – медианный фильтр, ж – α - урезанный фильтр, з – фильтр Вилкоксона, и – Вейвлет фильтр).

Визуальный анализ полученных различными методами оценок показывает, что эффективность обработки изображения адаптивным двумерным методом размножения оценок выше. При этом следует отметить, что перепады яркости изображения сохранены лучше, чем при обработке остальными методами. Обработка α - урезанным фильтром приводит к искажениям, связанными с расфокусировкой изображения. Остальные методы в меньшей степени сглаживают границы изображение, но при этом появляется “зернистость” структуры, что связано с незначительным подавлением шумовой составляющей. На изображении, обработанном медианным фильтром, наблюдается сохранение перепадов яркости, но наличие ошибки в оценке полезной составляющей приводит к потере мелких деталей изображения.



а) б) в)

г) д) е)

ж) з) и)

Рисунок 2 - Результат обработки тестового кадра Bus различными методами при $\sigma_{ш}=50$

В заключении можно сделать следующие выводы.

В статье представлен новый адаптивный двумерный метод размножения оценок для фильтрации динамических изображений, который основан на адаптации к яркостным изменениям изображения, то есть определения областей квазистационарности и вычисления оценки в каждой области с помощью аппроксимации поверхностью первого порядка двумерным методом наименьших квадратов.

Представлены результаты исследований адаптивного двумерного метода размножения оценок при обработке динамических изображений, которые показали, что при обработке тестовых кадров видеосигналов удается сохранить перепады яркости, что связано с адаптивными свойствами разработанного фильтра по отношению к яркостным изменениям двумерного сигнала.

Список литературы

1. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений //М.: Техносфера, 2005. – С. 1072.
2. *Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И.* Цифровая обработка изображений в информационных системах //Новосибирск: изд-во НГТУ, 2000. – С. 168.
3. *Astola J., Kuosmanen P.* Fundamentals of nonlinear digital filtering // Boca Raton (USA): CRC Press LLC, 1997. – P. 276.
4. *Яне Б.* Цифровая обработка изображений //М.: Техносфера, 2007. – 584с.
5. *Воронин В.В., Марчук В.И., Франц В.А.* Разработка адаптивного двумерного метода размножения оценок при восстановлении изображений в условиях неполной априорной информации. Телекоммуникации, №9 – Москва: Изд-во Наука и Технологии, 2011. – С. 33–38.
6. *Марчук В.И., Воронин В.В.* Методы и алгоритмы восстановления изображений в условиях неполной априорной информации. Монография – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2010. – 89 с. ISBN 978-5-93834-629-1.
7. *Переверткин С.М.* Бортовая телеметрическая аппаратура космических летательных аппаратов //М.: Машиностроение, 1977. – 208 с.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы
ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

05.18.12

А.С. Выскребенец д.т.н., В.К. Петров

ГОУ ВПО Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
Электромеханический факультет, кафедра «Технологические машины и оборудование»,
Владикавказ, 050888pvk@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ СКОРЛУПЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОРЕХА

В данной статье предлагается решение проблемы получения целого ядра ореха при его переработке для кондитерской и молочной промышленности. Представлена новая разработка дробилки для раскалывания скорлупы различных видов орехов, которая позволит повысить качество вырабатываемой продукции.

Ключевые слова: *орехи, дробилка, раскалывание.*

В сфере переработки продуктов сельского хозяйства в последние годы доля мелких мобильных производств существенно возросла. Одним из таких производств может стать линия по очистке от скорлупы [4] и переработке ореха, а важнейшим в этой линии будет являться оборудование по раскалыванию орехов. Потребность в создании подобного оборудования обусловлена тем, что орех является ценной орехоплодной культурой и незаменимым сырьем для кондитерской промышленности.

При промышленной переработке орехов путем отделения скорлупы от ядра, возникает технологическая проблема [7] сохранения его без повреждения и разрушения. Существующие устройства для разрушения оболочки орехов за один проход осуществляют разрушение на 70-80%, причем около 20% очищенных ядер выходят после машинного разрушения скорлупы поврежденными.

На кафедре «Технологические машины и оборудование» СКГМИ (ГТУ) была разработана конструкция дробилки [1] для раскалывания скорлупы ореха, позволяющая повысить качество вырабатываемой продукции. Данная дробилка позволяет дробить фундук (лесной орех), грецкий орех, а также другие виды ореха [3] круглой и овальной формы.

При разработке нового оборудования решалась задача сохранения целостности ядер орехов, повышение выхода и качества их ядер.

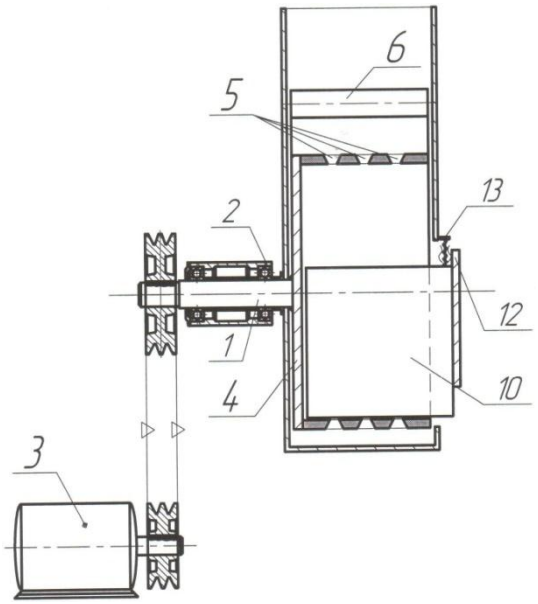
Принципиальная схема дробилки показана на рисунке 1, где на фиг. 1– изображен вид спереди устройства для раскалывания скорлупы орехов, на фиг. 2 – вид сбоку, на фиг. 3 - вид А, ячейка барабана.

Устройство для раскалывания скорлупы орехов состоит из вала 1, подшипниковых опор 2, привода 3. На валу 1 жестко закреплен барабан 4, имеющий по периферии, равномерно размещенные конусообразные сквозные ячейки 5. На шарнире 6 крепится пластина 7, которая прижимается к барабану 4 при помощи пружины 8. К пластине 7 прикреплен вибратор 9. Внутри барабана 4 расположен выталкиватель 10 с закрепленной на нем щеткой 11. Выталкиватель 10 совершает возвратно поступательные движения по салазкам 12 и регулируется при помощи винта 13. Через подающий бункер 14 загружается сырье. Расколотый орех попадает в приемный бункер 15.

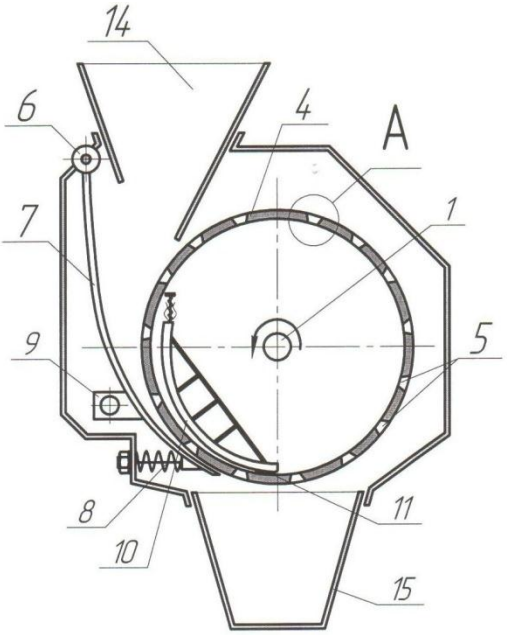
Устройство для раскалывания скорлупы орехов работает следующим образом.

Орехи загружаются в бункер 14, из которого попадают в пространство между прижимной пластиной 7 и барабаном 4. После чего западают в ячейки 5 барабана 4. Вал 1 с жестко установленным на нем барабаном 4 получает вращение от привода 3. По мере вращения барабана 4 орехи в его ячейках 5 перемещаются от бункера 14 до зоны колки, при этом они удерживаются в ячейках 5. Орехи увлекаются в щель между прижимной пластиной 7 и

барабаном 4. К пластине 7 крепится вибратор 9 выполненный в виде двигателя с закрепленным на валу кулачком. Вибратор 9 с регулируемой амплитудой, необходим для передачи механических колебаний к прижимной пластине 7, что позволит улучшить процесс разрушения скорлупы на более мелкие частицы. Помимо вибратора 9, важную роль играет пружина 8, жестко закрепленная на внешней прижимной пластине 7, благодаря которой происходит необходимое давление на орех, позволяющее разрушить скорлупу ореха. После раскола орехи, оставшиеся во впадинах выталкиваются выдавливателем 10, который также играет свою роль в раскалывании ореха. Расколотые орехи вместе со скорлупой ссыпаются в приемный бункер 15 для последующей обработки.

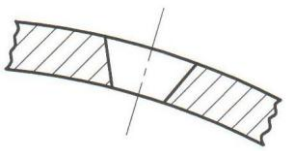


Фиг.1



Фиг.2

Вид А



Фиг.3

Рис.1.Устройство для раскалывания скорлупы орехов:
фиг. 1– изображен вид спереди устройства для раскалывания скорлупы орехов;
фиг. 2 – вид сбоку; фиг. 3 - вид А, ячейка барабана.

В данном устройстве можно дробить орехи различной величины и формы. Это можно осуществить благодаря съемному транспортирующему барабану. Для различных видов ореха используются барабаны с необходимыми размерами ячеек. Зазор между прижимной пластиной и барабаном можно отрегулировать, а пружину можно поставить необходимой жесткости.

На кафедре «Технологические машины и оборудование» СКГМИ (ГТУ) был создан опытный образец установки. Лабораторные испытания показали высокую эффективность работы дробилки по сравнению с другими устройствами. Экспериментальный опытный образец имеет следующие технические характеристики, которые представлены в таблице.

Таблица - Техническая характеристика дробилки для раскалывания скорлупы орехов

Показатели	Единица измерения	Значение
Мощность двигателя	кВт	0,55
Производительность	кг/ч	500
Барабан:		
диаметр	мм	219
ширина	мм	160
количество ячеек	шт	110
Габариты установки:		
длина	мм	1200
высота	мм	1500
ширина	мм	500

Список литературы

1. *Влащик Л.Г., Хашир А.А.* Технологическая оценка различных сортов фундука для переработки на предприятии ЗАО «Орехпром»//Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ.-2006.№2(18).
2. ГОСТ 16834-81. Орехи фундука. Технические условия.
3. ГОСТ 16835-81. Ядра орехов фундука. Технические условия.
4. Лесная энциклопедия. Т. 1. М. 1986. 563 с.
5. *Невзоров В.Н.* Техника и технологии заготовки кедрового ореха / В.Н. Невзоров.- Красноярск: КГТА, 1996.-116 с.
6. Патент № 2454897 Россия, МПК 2454897 A23N5/00. Устройство для раскалывания скорлупы орехов/ В.К.Петров, А.С.Выскребенец.– - № 2011105451/13; заявл. 14.02.2011; опубл.10.07.2012.
7. *Тхагушев Н.А.* Орехоплодные Краснодарского края / Н.А. Тхагушев. – Майкоп: Адыгейское республик. Кн. Изд-во, 2003.-315с.

05.05.06

[1]А.С. Выскребенец д.т.н., [2]Г.И. Свердлик д.т.н., [3]А.Н. Фомин

[1]Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
Владикавказ, dekan-59@yandex.ru

[2]Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
кафедра «Технологические машины и оборудование»,
Владикавказ

[3]Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), кафедра «Инженерная графика»,
Владикавказ

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ НА РАБОТУ СИСТЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ

На основании результатов экспериментальных исследований обоснована необходимость учета атмосферных условий при проектировании систем проветривания шахт, которые обусловливают возможность образования капельной жидкости в вентиляционном трубопроводе.

Проанализированы последствия воздействия капельной жидкости и твердых частиц на элементы системы проветривания шахты. Приведена конструкция каплеуловителя.

Ключевые слова: *Атмосферные условия, проветривание шахт, влагосодержание, капельная жидкость, каплеуловитель.*

Создание нормальных атмосферных условий работы в подземных выработках горнодобывающих предприятий обеспечивает система проветривания. Эта система должна выполнять подачу для работающих в шахте достаточного количества чистого воздуха и снижать до санитарных норм содержание пыли в горных выработках.

Атмосфера шахт должна удовлетворять следующим условиям [1].

Содержание кислорода в рудничном воздухе должно быть не менее 20%, углекислого газа CO_2 не более 0.5%, CO не более 0.0016%, сероводорода H_2S не более 0.00066%, сернистого газа SO_2 не более 0.0007%, окислов азота NO_2 не более 0.0002%. Допустимое содержание выхлопных газов, к которым относится смесь газов CO и CO_2, окислов азота, акролеина и формальдегида, 0.002 мг/л.

В практике проветривания шахт используется всасывающий, нагнетательный или комбинированный способы проветривания. Для улучшения проветривания шахт необходимо увеличение площади сечения вентиляционных выработок, регулирование объёмов работ, исключение из вентиляционной сети отработанных участков и т.д.

Главное направление по дальнейшему совершенствованию системы проветривания это модернизация вентиляторов главного проветривания, использование более эффективных установок, особенно для глубоких шахт.

В СКГМИ (ГТУ) была разработана система проветривания урановых рудников с использованием турбонагнетателей, которая была опробована на одной из урановых шахт. Система (рис. 1) включает три турбонагнетателя типа 1050-13-1, коллекторный трубопровод с задвижками для возможности реверсировать вентиляционную струю, трубопроводы сброса (забора) воздуха, два магистральных трубопровода, проложенных в стволе шахты – один до горизонта рудничного двора, второй до забоев главной проходки.

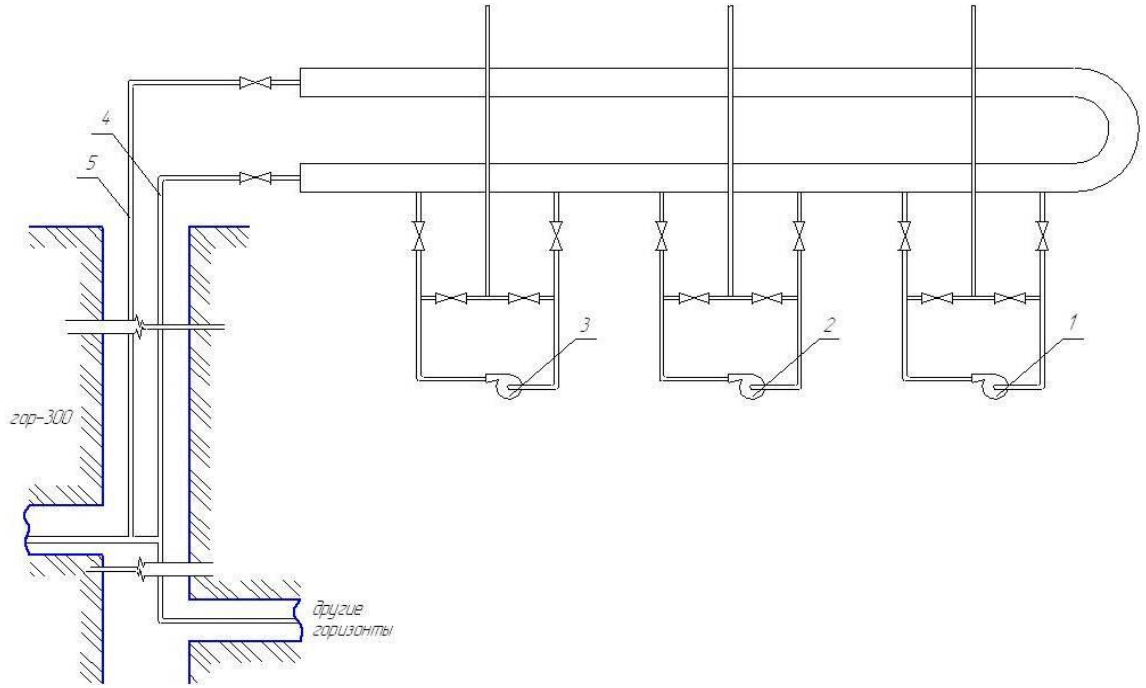


Рис. 1– Схема вентиляционной установки шахты
1- воздуходувка №1; 2 - воздуходувка №2; 3 - воздуходувка №3;
4 - трубопровод №1; 5 - трубопровод №2

Как показали экспериментальные исследования, при проектировании систем проветривания необходимо учитывать влияние атмосферных условий: температуры и влажности окружающего вентиляционный ствол воздуха.

Результаты замера параметров микроклимата вентиляционной струи при расходе воздуха в двух магистральных трубопроводах 16. 1 м^3/с приведены в табл. 1.

Таблица 1– Экспериментальные данные параметров вентиляционной струи

Место измерения	Температура воздуха по мокрому термометру, ◦ С	Температура воздуха по сухому термометру, ◦ С	Относительная влажность воздуха, %	Влагосодержание в воздухе, г/кг
На поверхности возле ствола шахты	+2	+2	100	4,6
На рудничном дворе гор.- 300 м	+12	+12,4	100	9
В забое гор.- 300 м, удаленного на 100 м	+13,9	+14,1	100	10

При экспериментальных исследованиях было отмечено, что при увеличении перепада температур между поверхностью возле ствола шахты и забоем, особенно в зимнее время, увеличивается влагосодержание в воздухе, что приводит к выпадению капельной жидкости в струе вентиляционного воздуха. По мере продвижения вентиляционной струи снизу вверх при понижении температуры в потоке воздуха образующаяся капельная жидкость стекает по стенкам труб вниз, уменьшая тем самым сечение труб и изменяя параметры работы системы главного проветривания шахты.

Это обстоятельство усугубляется, когда в потоке вентиляционного воздуха содержатся твёрдые частицы горной породы, образующиеся при буровзрывных работах.

Попадание в рабочее пространство роторной машины твёрдых частиц и капельной жидкости может вызвать повышенный износ лопастей ротора, его разбалансировку и

увеличение нагрузок на подшипниковые узлы. Особенно это актуально для быстровращающихся роторов.

Для улавливания капельной жидкости разработана установка центробежного типа (рис. 2), основными элементами которой являются ротор, электродвигатель, кольцевой сборник жидкости.

Место установки каплеуловителя зависит от влагосодержания и перепада температур. Использование установки по улавливанию капельной жидкости позволит обеспечить устойчивую работу турбонагнетателей и снизит загрязнение окружающей среды при сбросе загрязнённого воздуха.

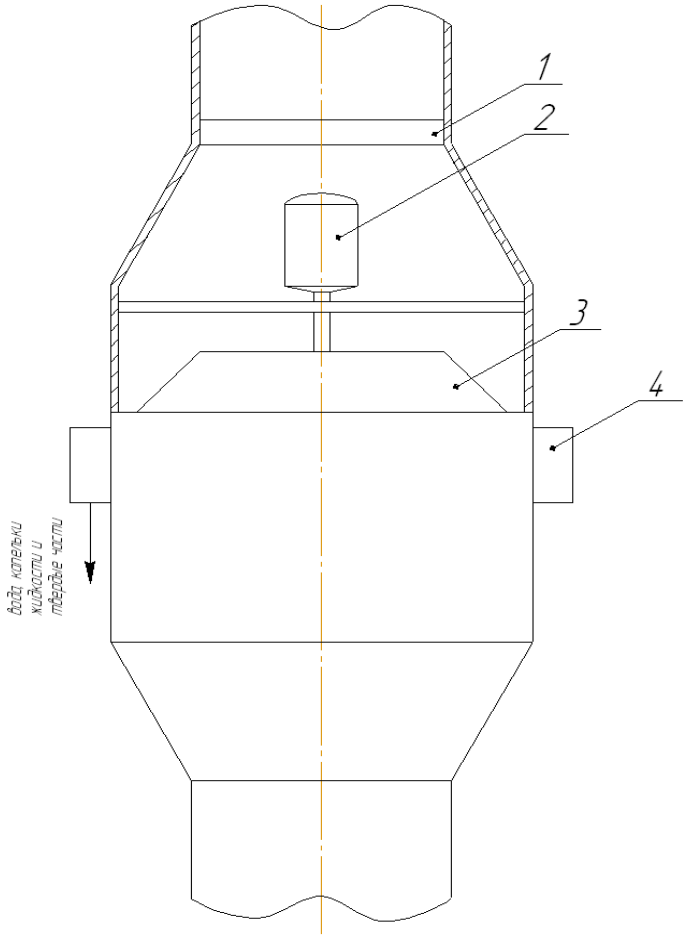


Рис. 2- Каплеуловитель

1- выпрямляющий аппарат; 2- электродвигатель;
3- ротор; 4- кольцевой сборник жидкости

Список литературы

1. *Машковец И.Л., Балыхин Г.А.* Аэрология и охрана труда на шахтах и в карьерах. – М., изд. УДН, 1986. – 312 с.

05.02.13

[1]С.Н. Голышев, [2]Д.В. Дикамов, [3]С.Н. Ермаков, [4]В.З. Минликаев, [5]С.Н. Семёнов

[1]ООО НИП «Дельта-Т»,
Псков, golyshevsergey@rambler.ru,

[2]ОАО «Газпром», Департамент по добыче газа, газового конденсата, нефти,
Москва, D.Dikamov@adm.gazprom.ru

[3]ООО НИП «Дельта-Т»,
Псков, delta-t.dma@mail.ru

[4]ОАО «Газпром», Департамент по добыче газа, газового конденсата, нефти,
Москва

[5]ООО НИП «Дельта-Т»,
Псков, kvant93@rambler.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУБЫ ГРУЗОНЕСУЩЕЙ ТГ 50/64-100 (НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОЙ) ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБВОДНЁННЫХ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН БЕЗ ИХ ГЛУШЕНИЯ

В статье приведён способ эксплуатации обводнённых газовых скважин. Способ заключается в спуске в скважину второй лифтовой колонны, в качестве которой используется труба грузонесущая ТГ 50/64-100. Основным преимуществом данного способа является возможность производить спуск трубы ТГ 50/64-100 без глушения скважины.

Ключевые слова: *труба грузонесущая ТГ 50/64-100, способ эксплуатации скважины, обводнённая газовая скважина, лифтовая колонна.*

В процессе эксплуатации газовых скважин на поздней стадии разработки месторождений возникают осложнения, вызванные скоплением воды на забое и разрушением призабойной зоны скважины. В результате чего снижаются рабочие дебиты скважин [1]. В большинстве обводнённых газовых скважин в России добыча газа производится по одной лифтовой колонне (основной лифтовой колонне).

Основным способом эксплуатации обводнённых газовых скважин является перевод скважины на эксплуатацию по двум лифтовым колоннам. Структурная схема скважины после её перевода на эксплуатацию по двум лифтовым колоннам приведена на рис.1.

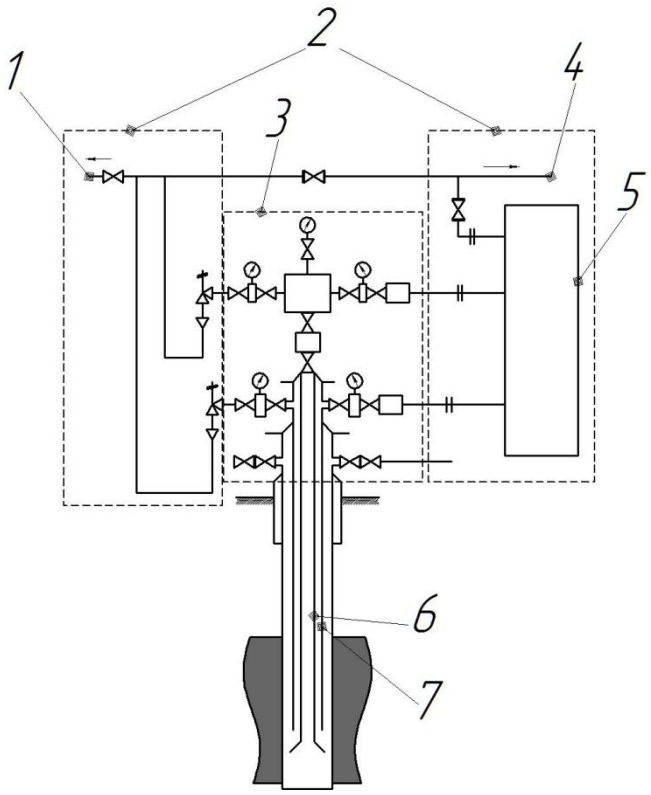


Рис.1 Структурная схема газовой скважины после её перевода на эксплуатацию по двум лифтовым колоннам:
1 – факельная линия; 2 – устьевая обвязка; 3 –фонтанная арматура;
4 – установка комплексной подготовки газа; 5 – управляющий комплекс;
6 – центральная лифтовая колонна; 7 – основная лифтовая колонна.

Перевод скважин на эксплуатацию по двум лифтовым колоннам включает следующую последовательность действий. Скважину заглушают жидкостью глушения, демонтируют нижнюю часть фонтанной арматуры 3, после чего извлекают из скважины подземное оборудование и основную лифтовую колонну 7. Следующим этапом является переоборудование устья скважины и спуск в скважину двух лифтовых колонн 6, 7. После чего устанавливают верхнюю часть фонтанной арматуры 3 и управляющий комплекс 5 для контроля и управления работой скважины по двум лифтовым колоннам 6, 7. Завершающим этапом является отработка скважины на факел, проведение газодинамических исследований и ввод скважины в эксплуатацию. Полное описание перевода скважин на эксплуатацию по двум лифтовым колоннам приведено в [2, 3]. Недостатками способа, приведённого в [2, 3], являются необходимость в: глушении скважины, демонтаже нижней части фонтанной арматуры, извлечении из скважины основной лифтовой колонны и подземного оборудования.

В данной статье рассматривается способ перевода скважин на эксплуатацию по двум лифтовым колоннам, отличающийся от способа, приведенного в [2, 3] тем, что в качестве центральной лифтовой колонны используется полимерная армированная труба ТГ 50/64-100, а также тем, что при спуске трубы ТГ 50/64-100 используется специальное оборудование, позволяющее произвести её герметичный спуск. Конструкция трубы грузонесущей ТГ 50/64-100 изображена на рис.2.

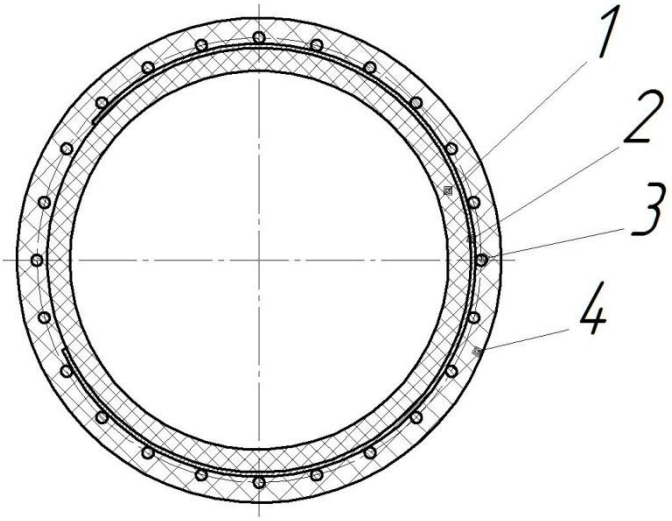


Рис.2 Поперечный разрез трубы грузонесущей ТГ 50/64-100:
1 – трубка; 2 – армировка; 3 – повив брони; 4 – оболочка.

Разработка трубы грузонесущей ТГ 50/64-100 ведётся в рамках государственного контракта №14.527.12.0026 на выполнение опытно-конструкторских работ по теме: «Разработка, организация производства номенклатурного ряда шлангокабелей, полимерных армированных трубопроводов, технических средств и технологий их использования в нефтяной и газовой промышленности» при финансовой поддержке Министерства науки и образования. Труба ТГ 50/64-100 имеет следующие эксплуатационные характеристики: максимальное рабочее внутреннее давление – 25 МПа, максимальное рабочее наружное давление – 20 МПа, максимальная рабочая растягивающая нагрузка – 150 кН. Можно сделать вывод, что приведённые выше характеристики позволяют использовать трубу ТГ 50/64-100 в качестве лифтовой колонны. Применение полимерной армированной трубы в качестве лифтовой колонны позволяет значительно сократить время спуска, так как, в отличие от труб НКТ, труба ТГ 50/64-100 может быть изготовлена практически любой длины, фактически её длина определяется только диаметром и шириной барабана, на который она намотана. Например, на барабане 25МС-6 ОСТ16 0.684.014-80 может быть намотано 1300 м. трубы.

Спуск трубы ТГ 50/64-100 предлагается производить по схеме, изображенной на рис. 3. На реконструируемой скважине перекрывают коренную задвижку 6, входящую в состав нижней части фонтанной арматуры 5. Затем монтируют спускоподъёмное (спускоподъёмное устройство 12, инжектор 11) и противовыбросное (герметизатор 10, превентор 9) оборудование. После чего на нижнюю часть фонтанной арматуры 5 устанавливают радиальный трубодержатель 7, позволяющий закрепить трубу грузонесущую ТГ 50/64-100 поз.4, обеспечивая герметичность устья скважины. Затем на трубу ТГ 50/64-100 поз.4 устанавливают верхний и нижний наконечники. К верхнему наконечнику присоединяют пробку, а к нижнему управляемый клапан 1. Пробка и управляемый клапан 1 заглушают трубу ТГ 50/64-100 поз.4 с двух сторон. Управляемый клапан 1 имеет две позиции: ‘открыто’ и ‘закрыто’.

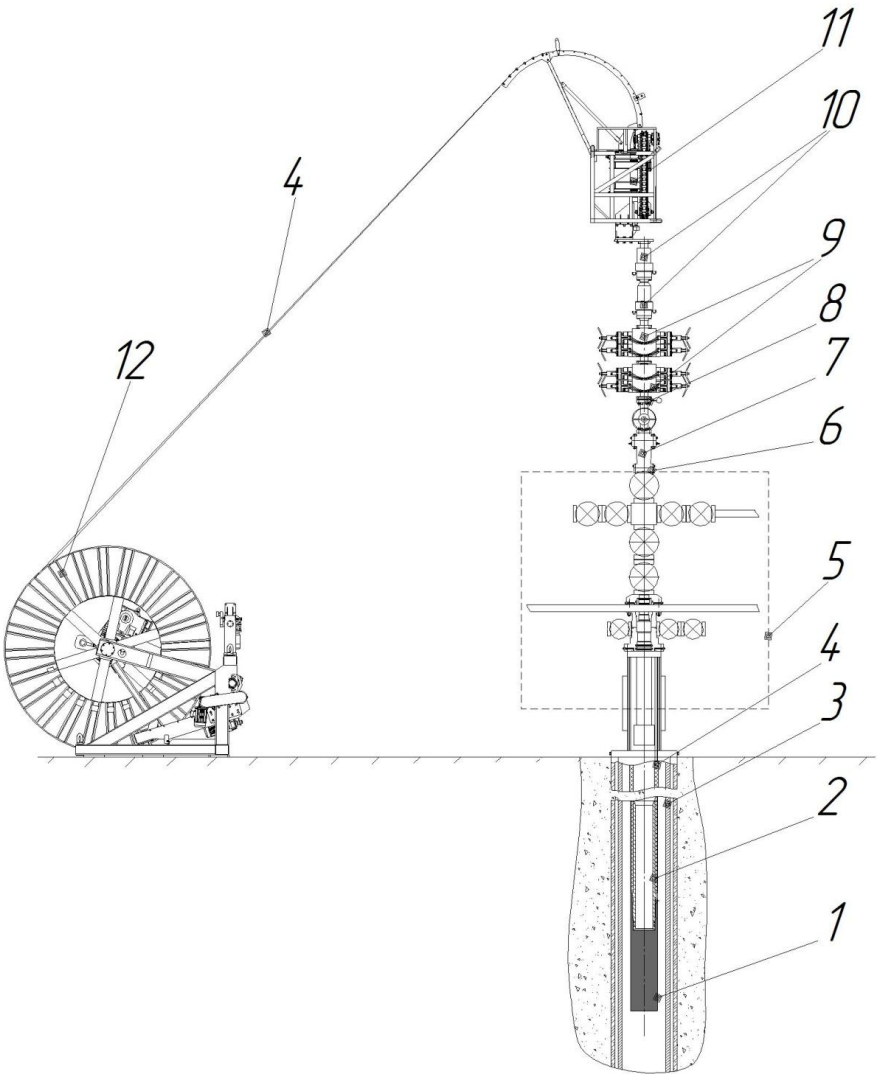


Рис.3 Схема спуска центральной лифтовой колонны в скважину:
1 – управляемый клапан; 2 – нижний наконечник; 3 – основная лифтовая колонна;
4 – труба ТГ 50/64-100; 5 – нижняя часть фонтанной арматуры;
6 – коренная задвижка; 7 – радиальный трубодержатель; 8 надкоренная задвижка;
9 – превентор; 10 – герметизатор; 11 инжектор; 12 – спускоподъёмное устройство.

После этого трубу грузонесущую ТГ 50/64-100 поз.4 при помощи спускоподъёмного и противовыбросного оборудования спускают в основную лифтовую колонну 3 скважины. Затем её закрепляют в радиальном трубодержателе 7 и извлекают пробку, заглушающую её с одной стороны. Затем перекрывают надкоренную задвижку 8 и демонтируют спускоподъемное и противовыбросное оборудование. После этого при помощи управляемого клапана 1 соединяют объёмы основной лифтовой колонны 3 и трубы грузонесущей ТГ 50/64-100 поз.4 для эксплуатации скважины по двум лифтовым колоннам.

Выводы

Благодаря тому, что в качестве центральной лифтовой колонны используется труба грузонесущая ТГ 50/64-100 и применяется оборудование, обеспечивающее её герметичный спуск, перевод скважины на эксплуатацию по двум лифтовым колоннам может быть произведён без глушения скважины, без демонтажа нижней части фонтанной арматуры, без извлечения из скважины основной лифтовой колонны и подземного оборудования, расположенного между объемами основной лифтовой колонны и обсадной колонны.

Исключение комплекса этих мероприятий позволяет сделать данный способ эксплуатации обводнённых скважин одним из наиболее эффективных.

Список литературы

1. *Епрынцев А.С., Якимов И.Е., Кротов П.С.* Технология эксплуатации скважин по концентрическим лифтовым колоннам на поздней стадии разработки газовых месторождений// Геология , география и глобальная энергия, 2011. №2 (41). С. 178-185.
2. Р Газпром 2-3.3-556-2011: Руководство по эксплуатации скважин сеноманских залежей по концентрическим лифтовым колоннам – М.: ОАО «Газпром», 2011.
3. Р Газпром 2-3.3-556-2011: Технические требования к внутрискважинному оборудованию, фонтанной арматуре и обвязке устья для эксплуатации скважин сеноманских залежей Надым-Пур-Тазовского региона по концентрическим лифтовым колоннам – М.: ОАО «Газпром», 2011.

05.05.06

А.А. Грабский к.т.н.

Московский государственный горный университет,
кафедра «Горные машины и оборудование»,
Москва, a.a.grabsky@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАРЬРНОГО КОМБАЙНА СО ШНЕКОФРЕЗЕРНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ ТИПА MTS (ГЕРМАНИЯ)

Выполнен анализ динамических процессов в рабочей системе карьерного комбайна типа MTS-250 (Германия) при процессе взаимодействия его шнекофрезерного рабочего органа с породным массивом с использованием разработанной цифровой модели.

Ключевые слова: *карьерный комбайн, породный массив, динамическая система, цифровая модель, шнекофрезерный рабочий орган.*

Для повышения эффективности работы шнекофрезерного комбайна необходимо знать его внутреннюю структуру, описывающую как функционирование самих элементов, так и различные взаимосвязи между ними. Обычно элементы структуры хорошо известны, а описание их работы и взаимосвязь с другими элементами описывается при помощи различного вида уравнений.

В работе [1] рассмотрены основные механические элементы комбайна и составлена система уравнений, описывающих их совместную работу. Система уравнений нелинейна и точное решение ее практически невозможно, а, следовательно, трудно дать точную оценку влияния одних параметров на другие. Еще более сложным становится исследование данной системы, когда возмущением системы является случайная во времени величина, например, реакция со стороны горного массива на шнекофрезерный исполнительный орган комбайна.

С целью анализа динамических процессов в рабочей системе комбайна разработана цифровая модель, позволяющая оценить все учтенные при описании её работы элементы.

Цель исследования: повысить эффективность работы шнекофрезерного комбайна путем анализа динамических процессов в рабочей системе комбайна с помощью разработанной цифровой модели, позволяющей оценить работу всех основных элементов системы: дизеля, гидромоторов, давления в магистрали гидропередачи, момента внешнего сопротивления на шнекофрезерном рабочем органе комбайна.

Моделирование системы проводилось в программе Sinulink вычислительной среды MATLAB. В основу моделирования положена следующая система уравнения [1]:

-уравнение движения дизеля:

$$I_Д \frac{d^2\varphi_Д}{dt^2} = i_Д i_{ГП}\left[\left(\omega_{XX} - i_Д i_{ГП}\frac{d\varphi_Д}{dt}\right)\frac{M_{Дном}}{\omega_{xx}}\right] - U_H K_H P \frac{q_H}{i_{ГП}}\left[1+\left(1-\frac{\pi}{2z}ctg\,\frac{\pi}{2z}\right)\sin\left(2zi_{ГП}\varphi_Д\right)+U_a\sin\omega_{МИ}t\right] -$$

$$- K_\Sigma\left(\varphi_Д - \varphi_M\right) - \nu\left(\frac{d\varphi_Д}{dt} - \frac{d\varphi_M}{dt}\right); \quad (1)$$

-уравнения движения гидромоторов:

$$I_{ГМ}\frac{d^2\varphi_M}{dt^2} = Pq_M K_M\left[1+\left(1-\frac{\pi}{2z}ctg\,\frac{\pi}{2z}\right)\sin\left(2z\varphi_M\right)\right] - K_\Sigma\left(\varphi_M - \varphi_Д\right) - \nu\left(\frac{d\varphi_M}{dt} - \frac{d\varphi_Д}{dt}\right) - \frac{M_C}{i_{TP}}; \quad (2)$$

-уравнение динамики давления в магистрали гидропередачи:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{E_ж}{V_o}q_M K_M\left(1-\frac{\pi}{2z}ctg\,\frac{\pi}{2z}\right)\cdot\left[U_H\frac{d\varphi_Д}{dt}\sin\left(2zi_{ГП}\varphi_Д\right)+\frac{U_H U_a}{\left(1-\frac{\pi}{2z}ctg\,\frac{\pi}{2z}\right)}\frac{d\varphi_Д}{dt}\sin\omega_{МИ}t - \frac{d\varphi_M}{dt}\sin\left(2z\varphi_M\right)\right] \quad (3)$$

-уравнение для момента внешнего сопротивления массива на шнеке:

$$M_c = \sigma \frac{BhW}{\varphi_0 \omega_H \eta_{Ш}} \left[\left(1 + \frac{k_\sigma \varphi_0 f_{TP}}{\cos\frac{\alpha_П}{2} tg\alpha} + \frac{2k_\sigma \varphi_0}{\cos\frac{\alpha_П}{2}} \right) \times 1\left(\frac{d\varphi_M}{dt} \right) + f_{TP} \Psi \times sign\left(\frac{d\varphi_M}{dt} \right) \right] \quad (4).$$

В модели приняты следующие обозначения: $\varphi_Д, \varphi_M$ - угловые координаты вращения вала дизеля и гидромотора, *рад*; $I_Д, I_M$ - моменты инерции вращающихся масс дизеля и трансмиссии привода, приведенные к валу гидромотора, *кг·м*^{2}; K_H, K_M - число насосов и гидромоторов привода; q_H, q_M - объемная постоянная насоса и гидромотора, $м^3/рад$; $i_{ГП}$ - i_{TP} - передаточное число трансмиссии; $i_Д$ - передаточное число от вала двигателя к валу насосов насосной установки; $Q_H(t)$ - подача насосной установки привода рабочего органа комбайна, $м^3/с$; $M_Д, M_{Дном}$ - текущий и номинальный моменты на валу двигателя, *Нм;* M_c - момент внешнего сопротивления на шнеке, *Нм;* z_1, z_2 - число поршней в гидромоторе и насосе; $E_{ж}$ - модуль упругости рабочей жидкости, *Па*; V_0 - объем рабочей жидкости в магистрали высокого давления привода шнекофрезерного рабочего органа, $м^3$; P - индикаторное давление рабочей жидкости на выходе из насоса, *Па*; ν - коэффициент демпфирования с учетом потерь в двух насосах и двух гидромоторах, *Нмс/рад*; K_Σ - крутильная жесткость гидропередачи трансмиссии шнека, *Нм/рад*; $S_{ном}$ - номинальное скольжение дизеля, *%*; ω_{xx} - угловая скорость вала дизеля без нагрузки, *рад/с*; $\omega_н$ - номинальная скорость движения шнека, *рад/с*; σ - прочность породы при одноосном сжатии, Па; B - длина шнека, *м;* D - диаметр шнека, *м;* h - высота слоя породы, *м;* W - скорость передвижения комбайна, м/с; $\varphi_0 = \arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right)$ - угол охвата шнека породой; α - угол наклона винтовой линии шнека, *рад*; $\alpha_п$ - угол трапециидальности профиля реборды шнека, *рад*; Ψ - коэффициент, отношение нормальной к касательной реакции слоя породы, равен 0.3÷0.7; $f_{тр}$ - коэффициент трения шнека о породу; $U_a, \omega_{ми}$ - регулируемые параметры, амплитуда и частота изменения расхода гидропульсатора.

Модель рабочей системы была разбита на подсистемы, каждая из которых моделирует определенное устройство, входящее в комбайн типа MTS-250 (Германия): модель движения дизеля, гидромоторов, изменения давления, изменения расхода гидропульсатора, развиваемого момента и момента внешнего сопротивления на шнеке. Общая схема моделирования в рабочей системе дана на рис.1. Связи между подсистемами определяются уравнениями модели.

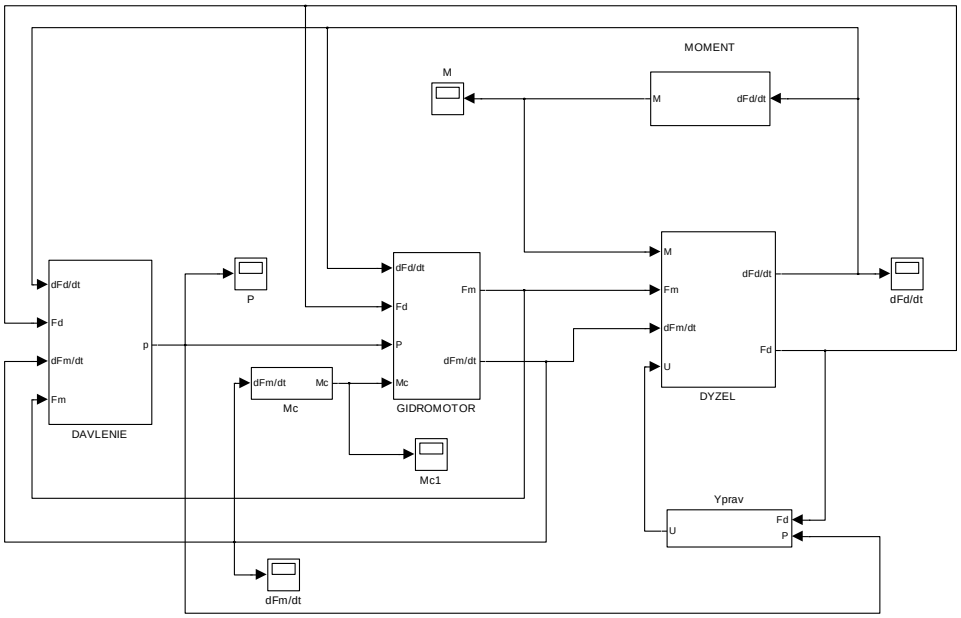


Рис. 1 – Общая схема моделирования рабочей системы комбайна для анализа динамических процессов

Примеры моделирования отдельных подсистем даны на рисунках 2 и 3.

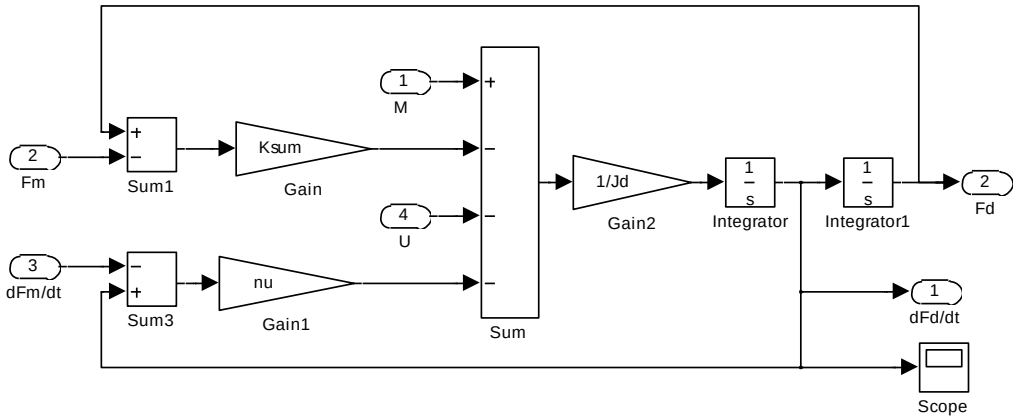


Рис. 2 – Модель функционирования дизеля

Внешними воздействиями для дизеля являются момент на валу дизеля и изменения расхода гидропульсатора.

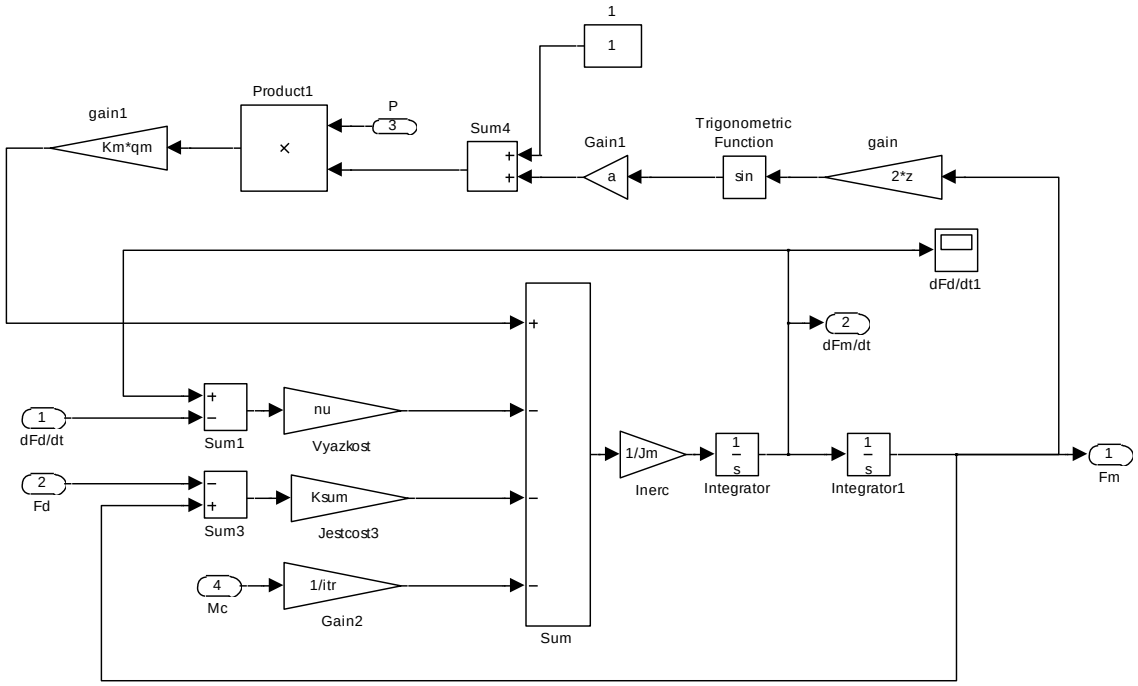


Рис. 3 – Модель функционирования гидромотора

Для гидромотора внешним сигналом является момент внешнего сопротивления на шнеке.

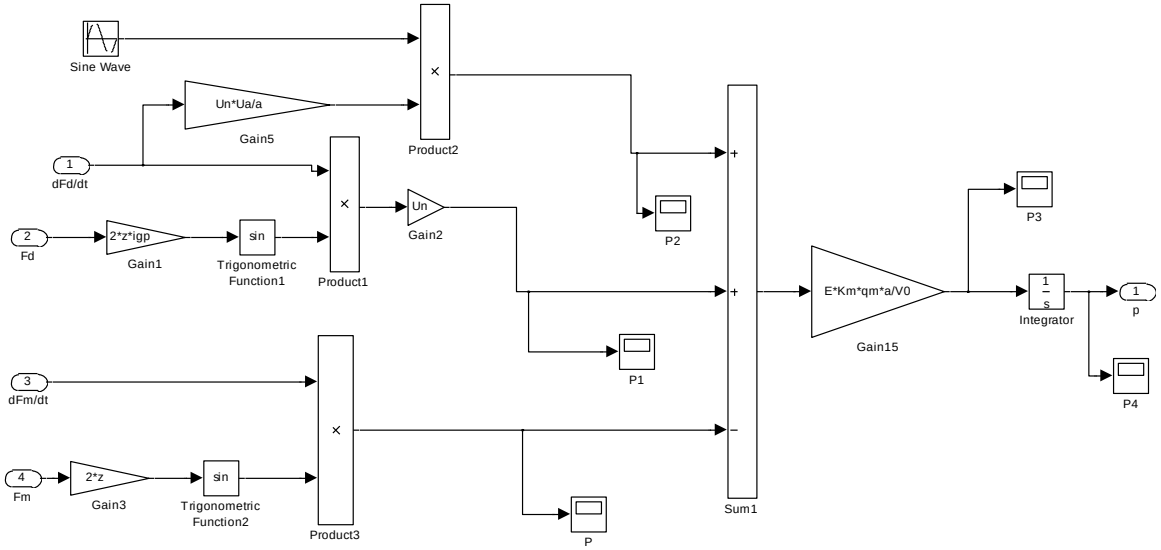


Рис.4 – Модель динамики давления рабочей жидкости на выходе из насоса

Аналогичным образом были набраны модели гидронасоса, виброреологического пульсатора и модель, создающая внешнее возмущение в виде момента сопротивления.

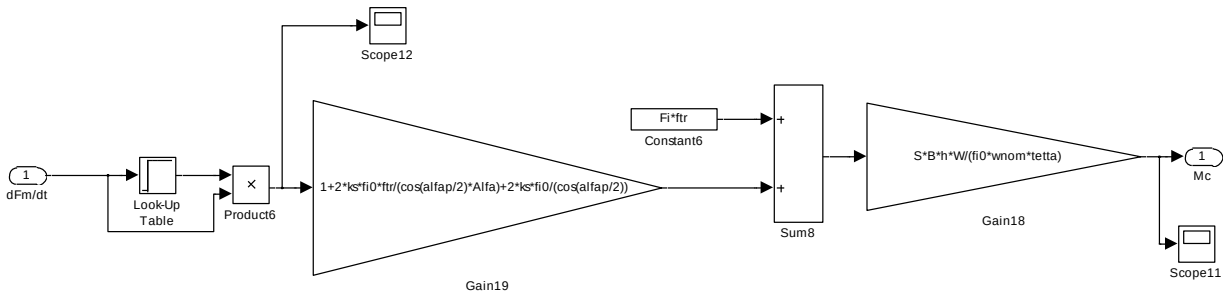


Рис. 5 – Модель формирования внешнего момента сопротивления (Mc)

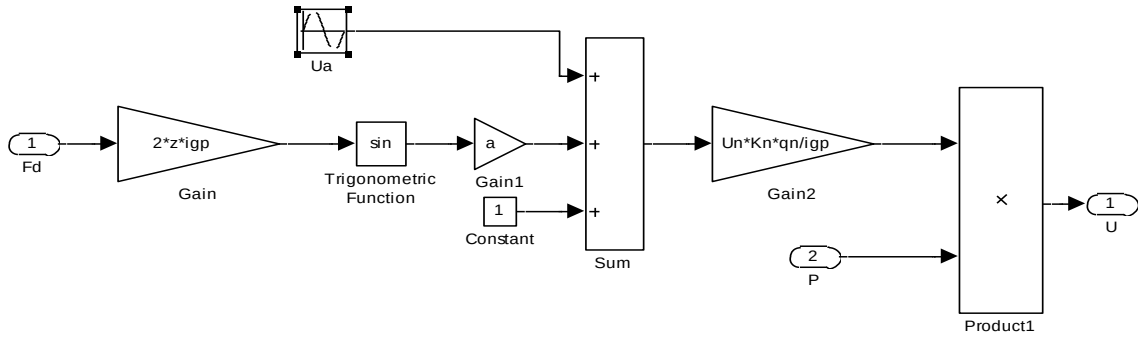


Рис. 6 – Модель изменения расхода гидропульсатора

Для проведения моделирования в MATLAB была написана программа ввода и расчета числовых параметров модели:

Ksum=0.897*1000000 %суммарная крутильная жесткость гидропередачи и трансмиссии шнека, S=10, ks=0.15, h=0.08 %высота слоя породы, wnom=4.4 %номинальная скорость вращения шнека, tetta=0.85, B=2 %длина шнека, D=1.6 %диаметр шнека, fi0=acos(1-2*h/D), ftr=0.4 %для хрупких пород, %ftr=0.65 %для вязких пород, Fi=0.3 %для хрупких пород, %Fi=0.7 %для вязких пород, tana=B/(2*pi*D), z=11 %число поршней в насосе и гидромоторе, E=0.8*10^9 %модуль упругости рабочей жидкости, V0=26.4*10^(-3) %объем рабочей жидкости, Jd=1000 %момент инерции дизеля, Jm=250 %момент инерции привода, Kn=2, Km=2 %число насосов и гидромоторов, nu=0.4*10^(-6) %коэффициент демпфирования, Mdnom=3740 %номинальный момент дизеля, Snom=0.05 %номинальное скольжение дизеля, wxx=196, Un=0.5 %меняется от 0 до 1, Ua=0.5 %меняется от 0 до 1, qm=0.64*10^(-3) %объемная постоянная времени мотора, qn=qm/14 %объемная постоянная времени насоса, id=1.11, igp=qm/qn, isum=id*igp, itr=3.4*1.18 %передаточное число трансмиссии, a=1-(pi/(2*z))*cot(pi/(2*z)), Alfa=B/(2*pi*D), alfap=0.1, W=0.2.

Далее оценим устойчивость движения механической части рабочей системы «Дизель – гидромотор». Для этого исключим из описывающих их движение уравнений внешние воздействия и получим следующую линейную систему:

$$I_Д \frac{d^2\varphi_Д}{dt^2} = -K_\Sigma\left(\varphi_Д - \varphi_M\right) - \nu\left(\frac{d\varphi_Д}{dt} - \frac{d\varphi_M}{dt}\right); \quad (5)$$

$$I_{ГМ} \frac{d^2\varphi_M}{dt^2} = -K_\Sigma\left(\varphi_M - \varphi_Д\right) - \nu\left(\frac{d\varphi_M}{dt} - \frac{d\varphi_Д}{dt}\right). \quad (6)$$

Выразим старшие производные, то есть угловые ускорения вала дизеля $\frac{d^2\varphi_Д}{dt^2}$ и гидромотора $\frac{d^2\varphi_M}{dt^2}$:

$$\frac{d^2\varphi_Д}{dt^2} = -\frac{K_\Sigma}{I_Д}\varphi_Д + \frac{K_\Sigma}{I_Д}\varphi_M - \frac{\nu}{I_Д}\frac{d\varphi_Д}{dt} + \frac{\nu}{I_Д}\frac{d\varphi_M}{dt}; \quad (7)$$

$$\frac{d^2\varphi_M}{dt^2} = \frac{K_\Sigma}{I_Д}\varphi_Д - \frac{K_\Sigma}{I_Д}\varphi_M + \frac{\nu}{I_Д}\frac{d\varphi_Д}{dt} - \frac{\nu}{I_Д}\frac{d\varphi_M}{dt}. \quad (8)$$

В этих уравнениях введем координаты состояния по правилу О.Коши: первую и третью координаты введем как угловые перемещения вала дизеля и вала гидромотора, а вторую и четвертую – как производные от предыдущих:

$$x_1 = \varphi_Д; \quad (9)$$

$$x_2 = \dot{x}_1 = \frac{d\varphi_Д}{dt}; \quad (10)$$

$$x_3 = \varphi_M; \quad (11)$$

$$x_4 = \dot{x}_3 = \frac{d\varphi_M}{dt}. \quad (12)$$

Тогда $\frac{d^2\varphi_Д}{dt^2} = \dot{x}_2$; $\frac{d^2\varphi_M}{dt^2} = \dot{x}_4$. (13); (14)

Каноническая модель имеет вид системы линейных дифференциальных и алгебраических уравнений:

$$\dot{x} = Ax + Bu; \quad (15)$$

$$y = Cx \quad (16)$$

Рассматриваемая система уравнений в терминах координат состояния:

$$\dot{x}_1 = x_2; \quad (17)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{K_\Sigma}{I_Д}x_1 - \frac{\nu}{I_Д}x_2 + \frac{K_\Sigma}{I_Д}x_3 + \frac{\nu}{I_Д}x_4; \quad (18)$$

$$\dot{x}_2 = x_4; \quad (19)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{K_\Sigma}{I_M}x_1 + \frac{\nu}{I_M}x_2 - \frac{K_\Sigma}{I_M}x_3 - \frac{\nu}{I_M}x_4. \quad (20)$$

Эта модель имеет матрицу состояния *A*:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_\Sigma}{I_Д} & -\frac{\nu}{I_Д} & \frac{K_\Sigma}{I_Д} & \frac{\nu}{I_Д} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K_\Sigma}{I_M} & \frac{\nu}{I_M} & -\frac{K_\Sigma}{I_M} & -\frac{\nu}{I_M} \end{bmatrix}. \quad (21)$$

Собственные числа этой матрицы позволяют проанализировать устойчивость рабочей системы, используя теорему Ляпунова. Собственные числа были найдены, используя ППП *Matlabe*: ans = -0.00000000100000 +66.97014260101285i; -0.00000000100000-66.97014260101285i; 0.00000000000000+0.00000063776045i; -0.00000000000000- 0.00000063776045i.

Видно, что собственные числа отрицательные, следовательно, динамическая рабочая система асимптотически устойчива. Кроме того, мы можем определить частоту собственных колебаний системы: $\omega_c = 66.97$ *Гц*.

Результаты моделирования показывают изменение скоростей дизеля и гидромотора при параметрах управляющего воздействия: $U_a = 1; \omega_{мш} = 10$ *Гц*.

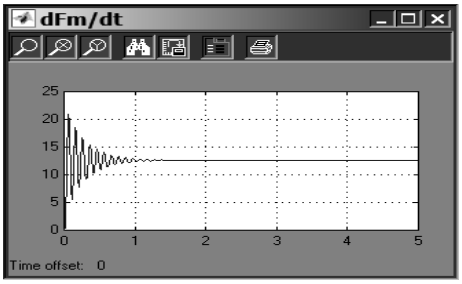


Рис. 7 – Изменение сигнала скорости гидромотора

Полученные фазовые траектории:

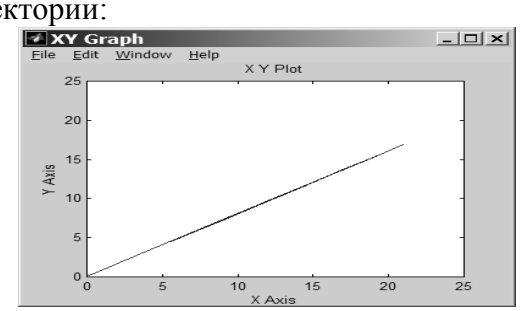


Рис. 8 – Фазовый портрет устойчивого состояния системы «Дизель-гидромотор»

Наряду с оценкой зон устойчивости, зон работы шнекофрезерного рабочего органа комбайна при варьировании частот и амплитуды колебаний давления в гидромоторах, задаваемого гидроимпульсным устройством, модель позволила оценить средние по средним во времени величинам момента сопротивления рабочего органа генератора при регулировании режима работы гидроимпульсов, т.е. степень проявления реологического эффекта. Модель была использована при статистическом анализе рабочей системы при случайных возмущениях и позволила оценить устойчивость динамической системы карьерного комбайна типа MTS-250 (Германия).

Список литературы

1. *Грабский А.А.* Карьерный комбайн как динамическая система с обратной связью / А.А. Грабский // Уголь. – 2012. – № 9. – С 43–44.
2. *Мельников Н.В.* Горные инженеры / Н.В. Мельников. – М.: Наука, 1974. – 270 с.
3. *Мышляев Б.К.* А.В. Топчиев и развитие угольного машиностроения // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 1. – С. 7–8.
4. *Топчиев А.В., Ведерников В.И. и др.* Горные машины и комплексы / А.В. Топчиев, В.И. Ведерников и др. – М.: Недра, 1971. – 500 с.

05.13.19

Д.В. Дмитриев к.т.н., О.В. Андреева

Институт радиоэлектроники и информационных технологий
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
кафедра Информатики и систем управления,
Нижний Новгород, dmitdmit@mail.ru, andreevaov@gmail.com

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ АУТЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО ОТПЕЧАТКАМ ПАЛЬЦЕВ

В работе рассмотрены наиболее часто используемые алгоритмы преобразования информации в процессе аутентификации личности по отпечаткам пальцев. Сформулированы критерии, по совокупности которых, определен оптимальный метод – сравнение отпечатков по особым точкам. С целью оптимизации алгоритма сравнения отпечатков по особым точкам рассмотрен ряд алгоритмов скелетизации изображения. Оптимальным, по затратам вычислительных ресурсов, среди них выбран шаблонный метод скелетизации. Программная реализация указанного алгоритма и его проверка на тестовом наборе изображений подтвердила правильность сделанных предположений.

Ключевые слова: *папиллярный узор, сравнение изображений, скелетизация.*

Системы идентификации личности должны работать быстро, надежно и иметь малую стоимость. Обычные методы идентификации основаны на использовании документов, паролей, подписей и других подобных способов. Эти традиционные подходы не удовлетворяют современным требованиям обеспечения безопасности. Перспективное направление будущего – биометрия предлагает удобные, надежные и дешевые средства идентификации или подтверждения личности и может использоваться без дополнительного контролирующего участия человека.

Биометрия позволяет осуществлять идентификацию личности уникально, измеряя некоторые физические и поведенческие характеристики. Внимание исследователей сосредоточено на нескольких из них, способных идентифицировать личность уникально: голос, походка, лицо, радужная оболочка и сетчатка глаза, отпечатки ладони или пальца. При этом идентификация личности по отпечатку пальца является самой удачной биометрической технологией благодаря простоте использования, удобству и надежности. Вероятность ошибки при идентификации пользователя по отпечаткам пальцев намного меньше в сравнении с другими биометрическими методами. Кроме того, само устройство идентификации по отпечатку пальца малогабаритно и приемлемо по цене[4].

Прежде чем перейти к рассмотрению основных методов распознавания отпечатков пальцев и алгоритмов построения систем распознавания, остановимся на деталях узора отпечатков пальцев. На самом простом техническом уровне, на изображении поверхности пальца можно выделить достаточно большое количество мелких деталей, по которым можно их классифицировать, но, как правило, в автоматизированных системах используют всего два типа деталей узора (особых точек):

1. конечные точки – точки, в которых заканчиваются папиллярные линии;
2. точки ветвления – определяются как точки, в которых папиллярные линии раздваиваются[3].

На рисунке 1 представлен пример, показывающий конечные точки и точки ветвления.

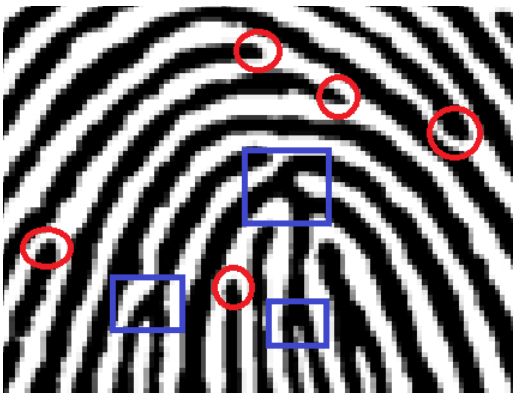


Рис 1 - Особые точки отпечатка пальца

В настоящее время выделяют следующие классы алгоритмов сравнения отпечатков пальцев[2]:

1. Корреляционное сравнение
2. Сравнение по узору
3. Сравнение по особым точкам

На основе анализа существующих методов распознавания по отпечаткам пальцев можно сделать вывод, что наиболее быстрым, эффективным и надежным является метод сравнения по особым точкам.

Рассмотрим этапы сравнения двух отпечатков:

1. Бинаризация изображения отпечатка. Приведение к чёрно-белому изображению.

2.Скелетизация изображения. Утончение линий изображения отпечатка.

Основная задача этой процедуры – построение линии (скелета), проходящей по центру анализируемого объекта. Такие процедуры обычно рассчитаны на анализ бинарных изображений, на которых все точки объектов имеют одну яркость, а точки фона – другую (обычно нулевую).

Работа процедуры заключается в последовательном симметричном удалении граничных точек объектов до тех пор, пока не будут получены линии толщиной в один элемент, которые и называются «скелетами» исходных объектов.

Алгоритмы «скелетизации» основаны на анализе окрестностей элементов бинаризированного изображения, в результате которого последовательно находят и удаляют крайние элементы объектов. Были рассмотрены следующие методы скелетизации изображения: шаблонный метод, волновой метод, алгоритм Зонга-Суня, алгоритм Щепина. В результате анализа данных методов был выбран шаблонный метод. Работа данного алгоритма заключается в анализе окрестности размером 3 на 3 элемента, где центральный элемент является текущим в обходе изображения[1]. На рисунке 2 шаблоны 1-8, являются основной частью. Для устранения «шума» используются шаблоны с номерами 9-12, кроме того, они так же могут быть повернуты на 90, 180 и 270 градусов, и ищутся вторым обходом изображения.

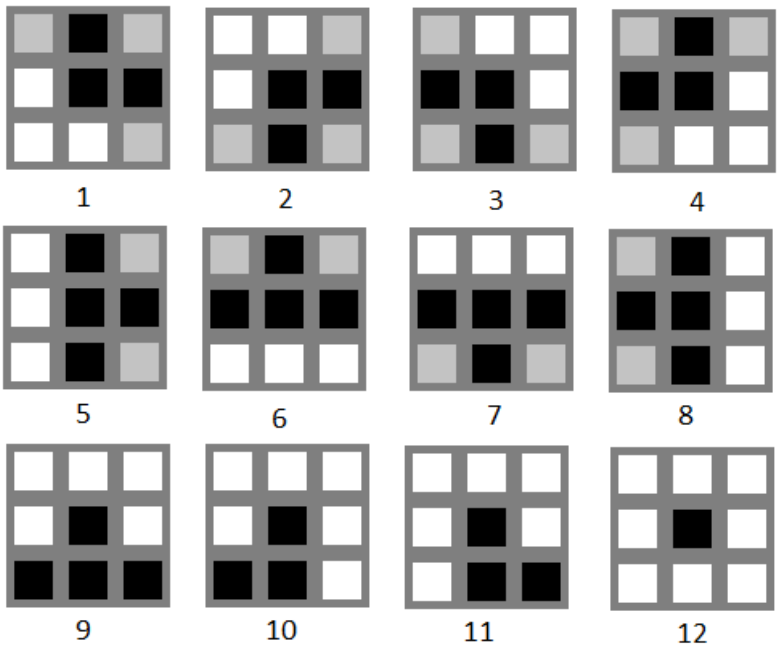


Рис 2 – Структурные шаблоны

Если в процессе обхода был обнаружен шаблон, то центральный пиксель окрашивается в белый цвет (не принадлежит скелету). Обход продолжается, пока остаются возможности удаления.

3.Выделение точек.

На данном этапе производится поиск конечных точек, точек ветвления и линий. Если в окрестности из восьми точек, есть только одна черная, следовательно, она является конечной точкой. Если же их две, то данная точка является частью линии. Точка считается точкой ветвления в случае, если её окружают три черные точки.

Однако существует вероятность не полного избавления от шумов, что приводило бы к появлению отростков, которые распознавались как особые точки. Для того, чтобы не учитывать их, необходимо произвести удаление близко стоящих точек ветвления и конечных точек.

4.Сравнение точек.

Сравнение осуществляется поиском точки, попадающей тридцать на тридцать элементов и являющейся точкой того же типа.

Результат работы алгоритма представлен на рисунке 3.

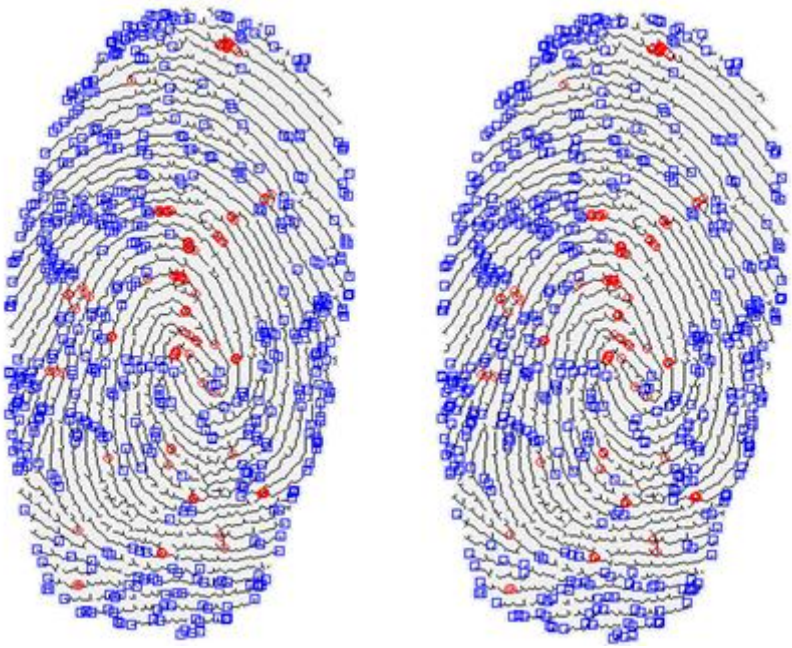


Рис 3 – результат работы алгоритма

Полученный алгоритм был проверен на тестовом наборе изображений и показал высокую надежность распознавания и скорость выполнения. Так же данный алгоритм отличается малой трудоемкостью. На основе проведенных тестов можно сделать вывод, что надежность распознавания зависит от корректного извлечения особых точек, что в свою очередь определяется качеством входного изображения.

Список литературы

1. *Бутаков Е.А., Островский В.И.* Обработка изображений на ЭВМ. М.: Радио и связь, 2007, с 240.
2. *Грыцык В.В. Гуревич И.Б.* Адаптивная бинарная сегментация изображений. Распознавание, классификация, прогноз.
Математические методы и их применение. М: Наука 2002 с 145-181
3. *Задорожный В.,* "Идентификация по отпечаткам пальцев", Часть 2, М: Наука 2007 с 102
4. *Претт У*. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 2002. с.480

05.02.05

В.В. Дубовсков, И.И. Наумов к.т.н., О.Г. Толстунов, А.В. Седов к.т.н., Н.С. Орлова

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса»,
кафедра «Радиоэлектронные системы»,
г. Шахты, tolstunov.oleg@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ДВУХЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА

В данной работе проводится сравнительный анализ методов интерполяции (метода Брезенхема и метода наименьших расстояний) прямолинейной траектории движения рабочего инструмента двухзвенного механизма и исследуется их ошибка. Рассмотрена кинематическая схема двухзвенного механизма, а также решена обратная и прямая кинематическая задача. Для проведения сравнительного анализа рассмотрен способ построения интерполяционной решетки механизма.

Ключевые слова: *метод интерполяции, интерполяционная решетка, ошибка интерполяции, двухзвенный механизм.*

В большинстве случаев задача контурной обработки плоских материалов (металла, ткани, кожи, камня и прочих) при помощи оборудования с ЧПУ сводится к разбиению (делению) сложного контура фигуры на элементарные фигуры, которыми наиболее часто является отрезок прямой, ввиду большей простоты реализации алгоритмов интерполяции. При разбиении сложного контура на отрезки прямых точность обработки заготовки определяется количеством разбиений и точностью применяемого метода интерполяции. Задачу оптимального разбиения сложного контура на отрезки прямых решает большинство CAM систем, а задача интерполяции возлагается непосредственно на ЧПУ оборудование, точность решения которой зависит от его кинематических особенностей, точности приводных механизмов, а также методики интерполяции.

В настоящее время существует множество методов линейной интерполяции, наиболее известными из которых являются цифровой дифференциальный анализатор (ЦДА) и метод Брезенхема [1]. Выбор того или иного метода для решения задачи линейной интерполяции зависит от кинематических особенностей оборудования. В связи с этим в данной работе проводится сравнительный анализ методов интерполяции отрезка прямой с целью исследования ошибки интерполяции каждого метода. Как известно, ЦДА сложнее в аппаратной реализации, так как предполагает операции циклического деления, поэтому в качестве методов сравнения в работе рассматривается метод Брезенхема и метод, предложенный авторами для двухзвенного механизма ранее [2].

Двухзвенный механизм, кинематическая схема которого приведена на рис. 1, представляет собой диск радиусом R, который способен поворачиваться вокруг центра, расположенного в начале основной системы координат XOY на угол α, причем угол поворота диска $0 \le \alpha < 2\pi$. На краю диска закреплена штанга, длина которой равна радиусу диска R. Штанга имеет возможность поворота на угол β вокруг своей оси, расположенной в центре дополнительной системы координат $X'O'Y'$, причем угол поворота штанги $0 \le \beta \le \pi/3$. Рабочий инструмент закрепляется на краю штанги в точке $P(x, y)$ и проходит сквозь диск, для чего в диске предусматривается прорезь определенной ширины. Прорезь описывает дугу окружности радиусом R с центром в начале дополнительной системы координат $X'O'Y'$.

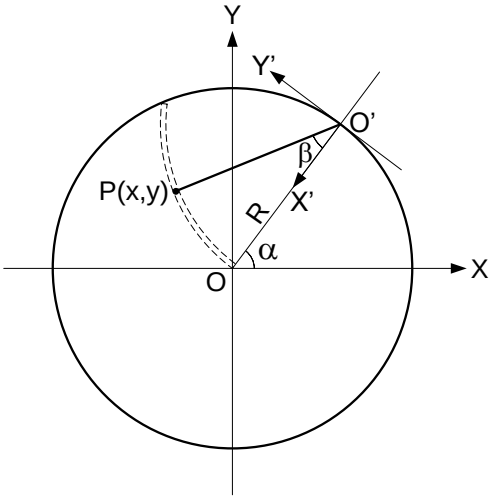


Рис. 1- Кинематическая схема двухзвенного механизма

Решение обратной кинематической задачи [2] можно представить в виде:

$$\begin{cases} \alpha(t) = \arcsin\left(\frac{x(t)\cdot cos\beta(t) - x(t) - sin\beta(t)\cdot y(t)}{2\cdot R(cos\beta(t)+1)}\right) \\ \beta(t) = \arccos\left(\frac{-x^2(t) - y^2(t) + 2\cdot R^2}{2\cdot R^2}\right) \end{cases} \quad (1)$$

Решение прямой кинематической задачи, согласно [2], можно записать в виде:

$$\begin{cases} x(t) = R\cdot \sin\big(\beta(t)+\alpha(t)\big) - R\cdot \sin\alpha(t) \\ y(t) = R\cdot \cos\big(\beta(t)+\alpha(t)\big) - R\cdot \cos\alpha(t) \end{cases} \quad (2)$$

Решив прямую кинематическую задачу для двухзвенного механизма с учетом дискретности угла поворота диска $\Delta\alpha$ и дискретности угла поворота штанги $\Delta\beta$, можно определить координаты всех узлов интерполяционной решетки. Для этого в среде MATLAB была реализована компьютерная модель, позволяющая рассчитать координаты всех узлов интерполяционной решетки двухзвенного механизма. Входными параметрами компьютерной модели является: радиус диска R и шаг дискретности углов $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$. В соответствии с входными параметрами, алгоритм компьютерной модели формирует прямоугольную матрицу обобщенных координат M размерностью $n \times m$, которая имеет следующий вид:

$$M(i,j) = \begin{matrix} (\alpha_1;\beta_1) & (\alpha_2;\beta_1) & \dots & (\alpha_j;\beta_1) & (\alpha_{j+1};\beta_1) \\ (\alpha_1;\beta_2) & (\alpha_2;\beta_2) & \dots & (\alpha_j;\beta_2) & (\alpha_{j+1};\beta_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (\alpha_1;\beta_i) & (\alpha_2;\beta_i) & \dots & (\alpha_j;\beta_i) & (\alpha_{j+1};\beta_i) \\ (\alpha_1;\beta_{i+1}) & (\alpha_2;\beta_{i+1}) & \dots & (\alpha_j;\beta_{i+1}) & (\alpha_{j+1};\beta_{i+1}) \end{matrix}, \quad (3)$$

где $\beta_{i+1} - \beta_i = \Delta\beta$ и $\alpha_{i+1} - \alpha_i = \Delta\alpha$.

На рис. 2,а и рис. 2,б показана интерполяционная сетка двухзвенного механизма с радиусом диска $R = 500$ мм, $\Delta\alpha = 10°$ и $\Delta\beta = 5°$.

Как видно из рис. 2,а и рис. 2,б, отдельно взятую дугообразную кривую формирует перемещение штанги относительно центра в точке O' (рис. 1) на угол β. Семейство дугообразных кривых образуется в результате поворота диска радиусом R относительно центра в точке O на угол α. Семейство концентрических окружностей, имеющих центр в точке O, образуется в результате дискретности углов α и β. Семейство точек пересечения концентрических окружностей с дугообразными кривыми является узлами интерполяционной решетки двухзвенного механизма.

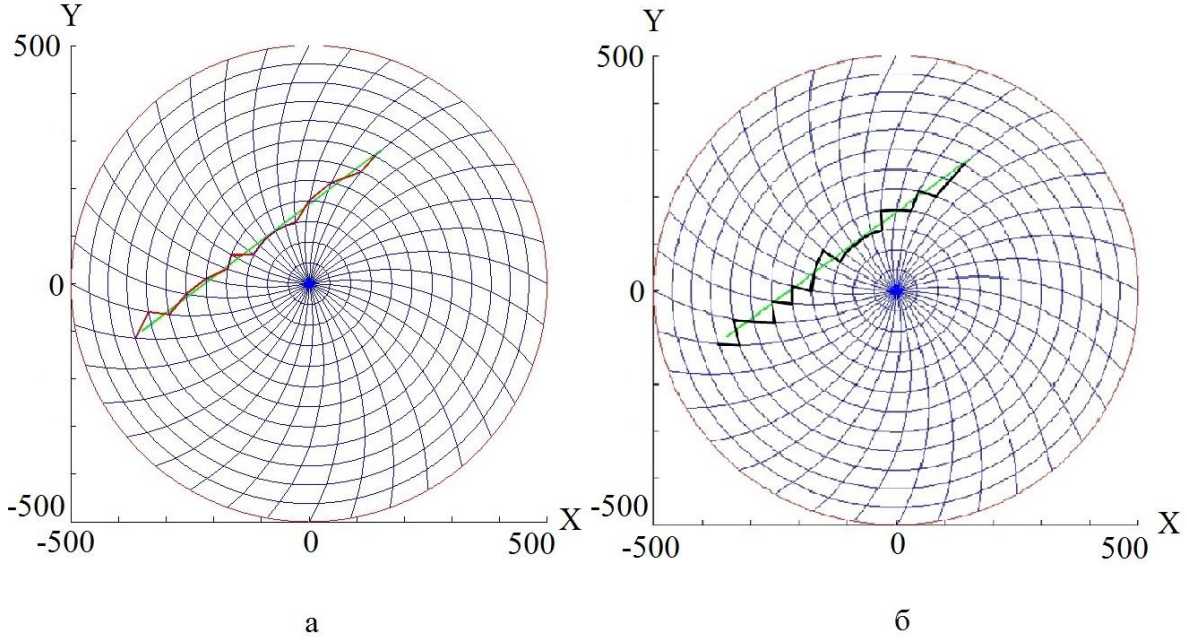
Расположим в рабочей зоне двухзвенного механизма произвольный отрезок прямой, заданный двумя точками, точкой $M1(x1;y1)$ и точкой $M2(x2;y2)$. Если решить обратную кинематическую задачу в точке $M1(x1;y1)$, то получим значения необходимых углов поворота звеньев исследуемого механизма, которые содержит матрица (3). Такой элемент

матрицы обозначим как $(\alpha_j;\beta_i)$, где $0 \le i < n$ и $0 \le j < m$. Очевидно, что элемент $(\alpha_j;\beta_i)$ в матрице (3) окружают соседние элементы:

$$\widehat{M} = \begin{pmatrix} \dots & (\alpha_j;\beta_{i-1}) & \dots \\ (\alpha_{j-1};\beta_i) & (\alpha_j;\beta_i) & (\alpha_{j+1};\beta_i) \\ \dots & (\alpha_j;\beta_{i+1}) & \dots \end{pmatrix} \quad (4)$$

Сущность метода [2] состоит в поиске соседнего элемента из матрицы $\widehat{M}$ по критерию минимального расстояния от координаты этого элемента до координаты конца отрезка прямой $\overline{M1M2}$. После того, как такой элемент будет найден, будет снова осуществлен поиск его соседних элементов по вышеуказанному критерию. Итерационный процесс алгоритма будет повторяться до тех пор, пока не будет достигнут конец отрезка прямой $\overline{M1M2}$.

На рис. 2,а представлен результат компьютерного моделирования в среде MATLAB, отражающий процесс интерполяции отрезка прямой (прямая на рис. 2,а), заданной двумя точками, точкой $M1[-350;-100]$ и точкой $M2[160;280]$. Интерполяция осуществляется по методу наименьших расстояний при помощи двухзвенного механизма с радиусом диска $R = 500$ и $\Delta\alpha = 10°,\ \Delta\beta = 5°$.



а б

Рис. 2- Результаты интерполяции отрезка прямой: а - по методу наименьших расстояний, б - по алгоритму Брезенхема

В ходе моделирования было установлено, что среднеквадратическое отклонение ошибки интерполяции по методу наименьших расстояний не превышает значения 9.914.

Для проведения сравнительного анализа также реализована процедура интерполяции отрезка прямой по известному алгоритму Брезенхема. Результат компьютерного моделирования представлен на рис. 2,б. Данный результат был получен при тех же входных параметрах модели. В ходе моделирования было установлено, что среднеквадратическое отклонение ошибки интерполяции по алгоритму Брезенхема составляет 15.799, что существенно выше среднеквадратического отклонения ошибки интерполяции того же отрезка прямой по методу наименьших расстояний, что доказывает целесообразность применения метода наименьших расстояний для решения задачи интерполяции в неортогональных механизмах.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

Список литературы

1. *Вольтмандер П.В.* Машинная графика. Основные алгоритмы. // Учебное пособие в 3-х кн.- Новосибирск, НГУ.- 1997. - С. 50-83.
2. *Валюкевич Ю.А., Наумов И.И.* Устройство для силомоментной обработки плоских материалов на базе двухзвенного механизма // Научно-технические ведомости.- Санкт-Петербург, СПбГПУ. - 2010. - № 1. - С. 177-181.

05.13.18

А.С. Дубровская

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
факультет прикладной математики и механики,
кафедра вычислительной математики и механики,
Пермь, mail.yamiko@gmail.com

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

В данной работе исследован процесс изготовления монокристаллических лопаток газотурбинных двигателей. Проведено математическое моделирование затвердевания отливки и формирования дендритной структуры. Выполнена оптимизация скорости выдвижения формы из печи. Таким образом, удалось получать отливку лопатки турбинного двигателя монокристаллической структуры. Результаты исследования были применены на опытном производстве.

Ключевые слова: *литье по выплавляемым моделям, кристаллизация, монокристаллическая отливка, дендритная структура*.

Одним из наиболее выгодных способов производства деталей турбин сложной геометрической формы является литье. В настоящее время лопатки турбинных двигателей изготавливают из жаропрочных никелевых суперсплавов. Поскольку эти сплавы трудно поддаются механической обработке, особенно когда отливки имеют сложную конфигурацию и тонкие стенки, лопатки турбин обычно изготавливают методом литья по выплавляемым моделям. При этом необходим особый контроль процесса кристаллизации, поскольку условия эксплуатации детали требуют ее высоких прочностных качеств и геометрической точности.

В процессе эксплуатации, когда лопатки в двигателе вращаются с большой скоростью, на них действует высокая рабочая температура. Это вызывает растягивающие напряжения, направленные вдоль оси лопатки. Поломки от перегрузки в основном происходят из-за деформации ползучести, возникающей на границе зерен. Поэтому, наиболее прочной микроструктурой обладает лопатка, в которой границы зерен направлены вдоль оси лопатки, или, лучше, вообще отсутствуют [1]. Такие лопатки получают с помощью метода монокристаллизации.

На производстве монокристалл выращивают методом направленной кристаллизации с использованием дополнительных конструкционных элементов: кристаллоотборника и затравки. Необходимо, чтобы тепло отводилось в направлении, противоположном направлению роста дендритов [2]. Для этого форму устанавливают в специальную печь, характеризующуюся высоким температурным градиентом, и после заливки расплава, медленного выдвигают ее наружу из печи.

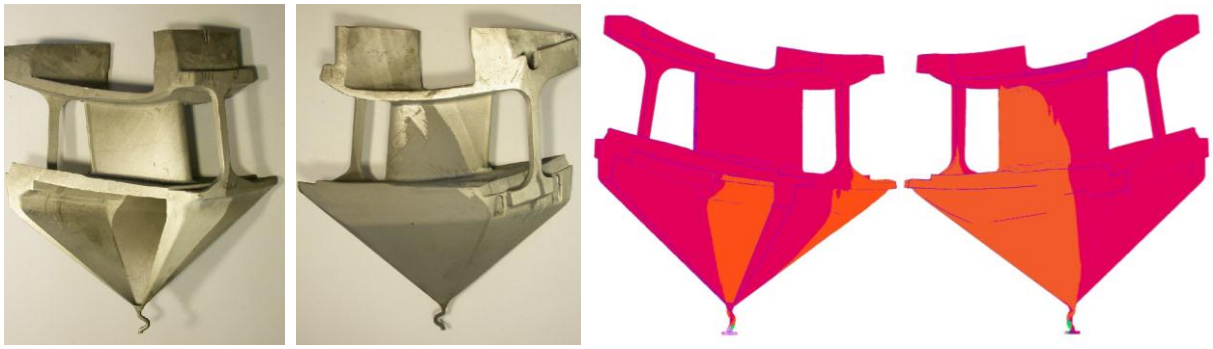
На дно формы устанавливают заранее изготовленную затравку, предназначенную для передачи ориентации направления роста зерен на кристаллизующуюся отливку. При выдвижении формы из печи дендриты растут в заданном направлении по специальному закрученному в виде спирали каналу, который называют спиральным кристаллоотборником. Его предназначение – выбрать одно зерно во время конкурентного роста в канале. Поскольку спиральная форма способствует ветвлению дендритов, после прохождения нескольких витков спирали остается только одно зерно, с которого начнется кристаллизация основной части отливки [3]. Таким образом, при соблюдении высокого температурного градиента и низкой скорости охлаждения на протяжении всего процесса кристаллизации отливки, будет обеспеченна монокристаллическая структура турбинной лопатки.

Был исследован процесс промышленного изготовления лопатки турбины низкого давления. При проведении химического травления обнаружилось, что отливка лопатки имеет дефект в виде паразитного зерна (рисунок 2,а). Целью данной работы является моделирование роста дендритной структуры в лопатке газотурбинного двигателя и изменение технологического режима производства, а именно скорости выдвижения литейной формы из печи подогрева форм, для получения монокристаллической отливки.

Подобные задачи в промышленности все чаще решаются с применением программных комплексов, предназначенных для моделирования литейных процессов. Такой подход позволяет снизить затраты поскольку отработка конструкции литниковой системы и температурно-временных параметров технологического процесса ведется не на реальных дорогостоящих плавках, а в виртуальном пространстве математической модели. Низкая стоимость и короткие сроки выполнения компьютерного эксперимента, а также большой объем и наглядность полученной информации о ходе технологического процесса и качестве будущей отливки делают компьютерное моделирование важнейшим инструментом опытного производства [4].

Исследование нестационарных температурных полей в расчетной области при заливке металла и кристаллизации отливки ведется с помощью дифференциального уравнение теплопроводности. Для моделирования заливки расплава в керамическую форму и расчета тепломассопереноса используется дифференциальное уравнение движения. В расчетной области рассматривается неизотермическое ламинарное течение несжимаемой Ньютоновской жидкости. Используется однофазный подход. Уравнение движения дополняет эволюционное уравнением неразрывности сжимаемой среды в области жидкой фазы, для соблюдения закона сохранения массы. Для моделирования роста кристаллов в процессе затвердевания расплава используется концепция диффузионного переохлаждения.

В конечноэлементном программном пакете ProCAST смоделирован процесс изготовления монокристаллической лопатки по технологии, применяемой на производстве[5]. Задача включала в себя анализ процессов предварительного прогрева формы, заливки металла и протяжки отливки. Микроструктура лопатки смоделирована в стохастическом программном модуле CAFE.



а б

Рис.1 – Структура лопатки турбины низкого давления с паразитным зерном: (а) – полученная в процессе производства, (б) – смоделированная с помощью компьютерного анализа.

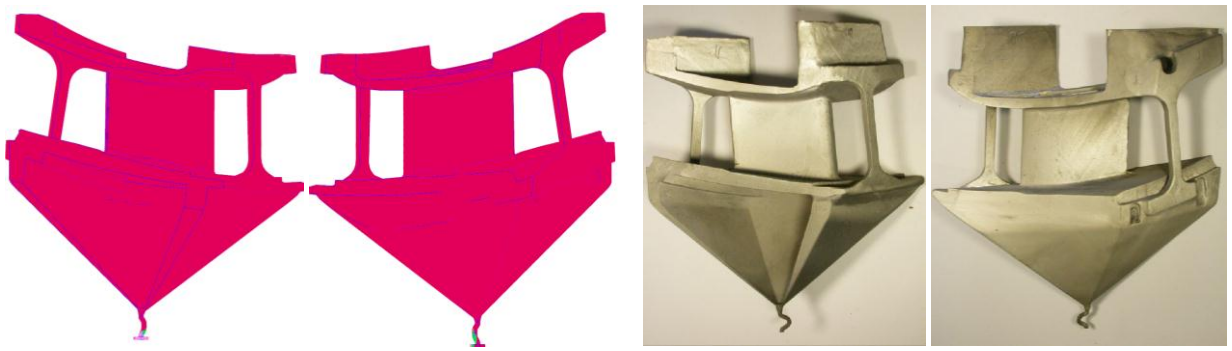
Исследования были сопоставлены с данными эксперимента и показали хорошую сходимость. На конечноэлементной модели сформировалось паразитное зерно, аналогичное дефекту, образовавшемуся в процессе производства (рисунок 1). Следующим шагом исследования стало изменение режима изготовления лопатки для получения монокристаллической структуры.

Механизм отбора кристаллов, который обычно используют для производства монокристаллических турбинных лопаток, зависит от большого числа различных

производственных факторов. Основным параметром являются ширина температурного градиента [6]. На ширину температурного градиента в основном влияет скорость выдвижения формы из печи, поскольку ее изменение может существенно уменьшить размер твердожидкой области.

Таким образом, будем оптимизировать скорость выдвижения формы из печи для получения максимального температурного градиента. В качестве оптимизируемой функции выберем высоту фронта кристаллизации и устремим ее к минимуму. Оптимизация велась методом градиентного спуска с постоянным шагом.

В результате для скорости была получена температурно-временная зависимость. После моделирования процесса кристаллизации лопатки с применением данного технологического режима были получены новые результаты. На рисунке 2,а показана микроструктура отливки, полученная для этой задачи. Можно отметить, что в математической модели из витков кристаллоотборника вышло только одно зерно, что соответствует требованиям, предъявляемым к изделию при монокристаллическом литье.



а б

Рис.2 – Структура отливки, полученная с помощью оптимизации скорости выдвижения формы и температуры печи: (а) – для математической модели, (б) – в реальном производственном процессе.

Было решено применить результаты исследования к производственному процессу. Температура в печи и скорость выдвижения отливки менялись в соответствие зависимости, полученной при численном анализе. Результаты химического травления показали, что отливка лопатки имеет монокристаллическую структуру (рисунок 2,б).

Таким образом, наиболее эффективным способом производства отливок лопаток сложной геометрической формы из жаропрочных никелевых суперсплавов является метод литья по выплавляемым моделям. Для повышения прочностных качеств лопатки в условиях эксплуатации требуется монокристаллическая структура отливки. В производственном процессе после химической протравки на отливке обнаружился дефект в виде паразитного зерна вдоль оси лопатки. Был проведен компьютерный анализ данного процесса и построена математическая модель успешно прошедшая верификацию. Проведена оптимизация температуры в печи и скорости выдвижения формы. В результате была получена температурно-временная зависимость для скорости. Применение зависимости к математической модели позволило получить желаемую монокристаллическую структуру. Результаты исследования были успешно внедрены в производственный процесс. Таким образом, использование оптимизации температуры среды и скорости выдвижения формы из печи позволило получить монокристальную отливку.

Список литературы

1. *J.A. Dantzig, M. Rappaz*. Solidification. EPFL Press 2009 p. 449.
2. *H.B. Dong and P.D. Lee.* Simulation of the columnar-to-equiaxed transition in directionally solidified Al-Cu alloys // Acta Mater., 2005. 53(3): p. 659-668.
3. *H.B. Dong, H.J. Dai, J.C. Gebelin, M. Newell, N.D. Souza, P.D. Brown, R.C. Reed*. Grain selection during solidification in spiral grain selector // Superalloys 2008 p. 367-374.
4. *А.В. Монастырский, В.П. Монастырский, Е.М. Левитан.* Разработка технологии литья крупногабаритных лопаток ГТД для энергетических установок с применением систем Полигон и ProCAST // Литейное производство, 2007, № 9, С. 29-34.
5. *О.О. Соколова, О.Ю. Сметанников*. Численное моделирование затвердевания и структуры металлического слитка //Вестник ПГТУ Механика – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2012. – №1. – С. 152 – 166.
6. *К.А. Донгаузер, О.О. Жиганкова*. Численная оптимизация процесса изготовления сопловой монокристаллической лопатки турбины газотурбинного двигателя // Вестник ПГТУ. Прикладная математика и механика. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011 – №9 – С.103.

05.07.05

И.Е. Евдокимов, Г.С. Филиппов, А.А. Яковлев к.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
«МАИ», НИЦ НТ при МАИ
Москва, tempero.m@gmail.com

ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАМЕТНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛА

Рассматриваются современные технологии снижения тепловой заметности выходных устройств двигательных установок ЛА. Проведен анализ применяемых в разработке средств проектирования и расчёта, экспериментального оборудования. Показаны возможности удешевления исследований в данной области, состояние работ в области разработки алгоритмов расчёта и экспериментальных методик проверки эмиссии инфракрасного излучения от авиационных воздушно-реактивных двигателей на примере исследования малогабаритного стендового двигателя на базе турбостартера ТС-21.

Ключевые слова: *тепловое излучение, ИК излучение, эмиссия, двигательная установка (ДУ) летательный аппарат (ЛА), выходное устройство,ANSYS CFX.*

Современные требования, предъявляемые к вновь создаваемой и модернизируемой авиационной технике, содержат всё более жёсткие ограничения к характеристикам. По данным [1] , например, в период с 1979 по 1993 гг. 83 % сбитых ЛА являлись заслугой ракет с инфракрасной (ИК) головкой самонаведения. Разработка новых устройств, предназначенных для снижения тепловой заметности авиационных ДУ, не прекращается по сей день [2]. Особенно актуален вопрос снижения тепловой заметности в отношении транспортных и боевых вертолётов в силу относительно небольшой высоты и скорости полёта по сравнению с самолётами. Согласно моделированию [2], применение средств, снижающих ИК- заметность двигателя, способно существенно увеличить живучесть и радиус действия ЛА.

Для расчетов эмиссии ИК излучения в арсенале западных инженеров имеется широкий выбор различных расчётных средств, в том числе стандартизованных в рамках нескольких стран, например NIRATAM (NATO InfraRed Air Target Model). Многие из этих программных комплексов способны рассчитывать излучение не только воздушной или наземной техники, но и учитывать поглощение излучения атмосферой, облаками, излучение солнца, ландшафта, городских построек. Хороший обзор программных средств с коротким описанием имеется в [3]. Отечественные инженеры в своём распоряжении расчётных комплексов подобных западным не имеют. Разработки в этой области, как правило, единичны, узко специализированы, труднодоступны, а иногда и вовсе засекречены, поэтому исключают их обсуждение научным сообществом и совершенствование различными научными коллективами.

Рассмотрим некоторые особенности разработки современных систем подавления ИК-излучения. Согласно [3], наилучшими показателями системы подавления ИК-излучения ДУ обладает Bell 212/412: при массе 10,88 кг потери тяги составили 2%, а наихудшими — система Ми-17, имеющая массу 108,86 при потерях тяги <3%. При анализе систем выводы об их эффективности, в плане подавления вклада излучения выхлопного тракта и горячих газов в сигнатуру вертолёта сделаны не были, однако, данная информация позволяет судить о некоторых параметрах системы.

Системы, разработанные недавно [2], [4] наиболее интересны для изучения и реализуют в себе разные подходы, связанные с разными возможностями инженеров и исследователей а также различающимися целями. Например, в [2] реализована схема сокрытия горячих частей двигателя и смешения горячих газов с окружающим воздухом, а в [4] предложена схема

сокрытия горячих частей специальным композитным корпусом, с минимальным влиянием на выхлопные газы в целях минимизации влияния системы подавления на тягу двигателей.

На рис. 1 представлено изображение системы подавления ИК-излучения, разработанной английскими инженерами [2]. Конструкция соответствует требованию низкого ИК излучения для всех углов визирования.

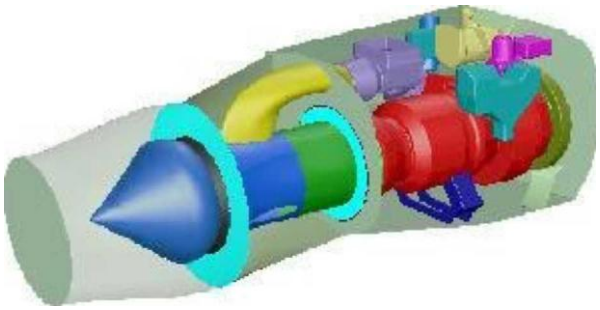


Рис 1- «FIRST» IRS, Rolls-Royce [2]

Центральное тело выходного устройства FIRST закрывает горячие конструктивные элементы выхлопного тракта и турбины, которое, в свою очередь, скрыто окружающим его корпусом. Используется эффект флотации для разворота потока и быстрого смешения выхлопных газов с более холодным окружающим воздухом. Для увеличения эффективности работ широко применялись современные расчётные комплексы, использовались наиболее современные на тот момент разработки. Подход к расчёту эмиссионных характеристик устройства так же был осуществлён на очень высоком уровне: были рассчитаны показатели в радиолокационном и инфракрасном диапазоне. Расчёт эмиссии ИК-излучения учитывал свойства газовой струи, свойства поверхностей в функции двунаправленного отражения - рассеяния (BRDF), пропускание атмосферы (MODTRAN).

Подход индийских исследователей [4] гораздо проще, и был предложен для вертолётов лёгкого класса. В своих статьях[3,4] они опираются, в основном, на классические труды по теории теплообмена. Эффективность насадка выходного устройства вертолёта в публикации [4] анализируется авторами как интегральная зависимость снижения относительного максимального излучения от длины конического насадка. Использование композитных материалов позволяет добиться в данном случае большего перепада температур (соответственно, более низкой температуры видимой поверхности), и снижения веса конструкции системы подавления. В совокупности с незначительным влиянием на перепад давления в выхлопном тракте ДУ, такая система может быть очень эффективной и простой.

Определим возможности удешевления разработок в области снижения ИК-эмиссии. К настоящему времени было опубликовано несколько работ, посвященных изучению небольших авиационных двигателей, обычно оснащённых центробежным компрессором и одноступенчатой турбиной. Работы [5,6] описывают изучение ИК- эмиссии малогабаритных двигателей и технологии снижения теплового излучения, работа [7] посвящена общей практике использования малогабаритных двигателей в обучении студентов и проведении исследовательских работ в области теории ВРД. 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.

В ходе работ на кафедрах 201 и 208 Московского авиационного института, была показана возможность экспериментального исследования имеющегося малогабаритного двигателя ТС-21 в целях опытной отработки расчётных методик. Использование малогабаритного двигателя позволяет упростить не только экспериментальные, но и расчётные работы, так ожидается, что приемлемая точность расчёта сопряжённого теплообмена и распределения температур в материале сопла может быть достигнута с помощью одной рабочей станции, оснащённой лицензионным комплексом ANSYS CFX.

Для экспериментов по замеру уровней и спектрального распределения ИК-излучения сопла малогабаритного двигателя используются спектрометр ИКС-21 и тепловизионная система FLIR S60. На рис. 2 приведён пример экспериментальной термограммы работающего двигателя, полученной с расстояния 2 м. Использование сложного оборудования позволяет изучить не только общие интегральные тепловые потоки, но и спектральное распределение интенсивности излучения, а значит, открывает путь к отработке покрытий, обладающих специфическими свойствами излучения и отражения в инфракрасном спектре.

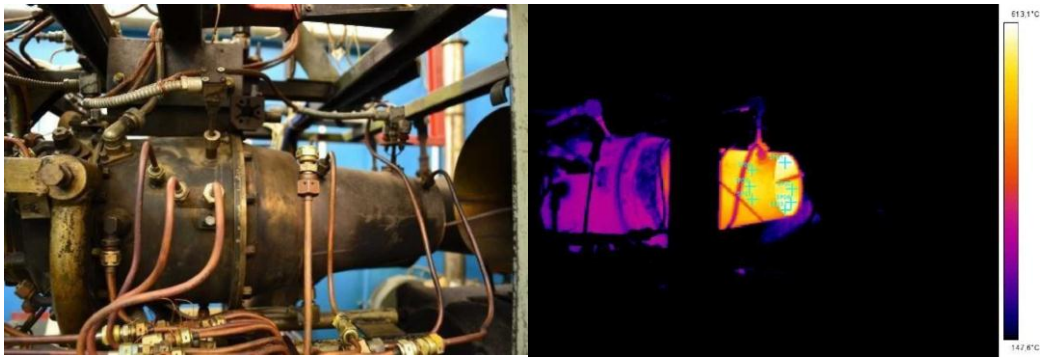


Рис. 2- Двигатель ТС-21 (каф. 201 МАИ), его тепловизионное изображение

Также были проведены расчётные работы по определению пространственного распределения силы излучения с помощью уже разработанных программ. На рис 3 приведены результаты численного моделирования для определения чувствительности индикатрисы излучения двигателя в зависимости от расстояния, на котором производятся замеры. Вычисление уровня излучения по модели «конус в конусе» (реальное сопло имеет вертикальные стойки), изображённой на рис. 4, позволило получить ориентировочные значения силы излучения в конкретной точке наблюдения.

В настоящей момент, моделирование в разработанной программе [8] имеет ряд недостатков (упрощение реальной геометрии доступным набором элементов, отсутствие импорта температур поверхностей из универсальных расчётных комплексов (ANSYS), отсутствие данных о реальной степени черноты поверхностей и использование модели серого тела (отражение — рассеяние по Ламберту)). Учитывая продолжающееся развитие расчётной программы, и её поддержку основным разработчиком, все перечисленные функции могут быть реализованы по мере надобности.

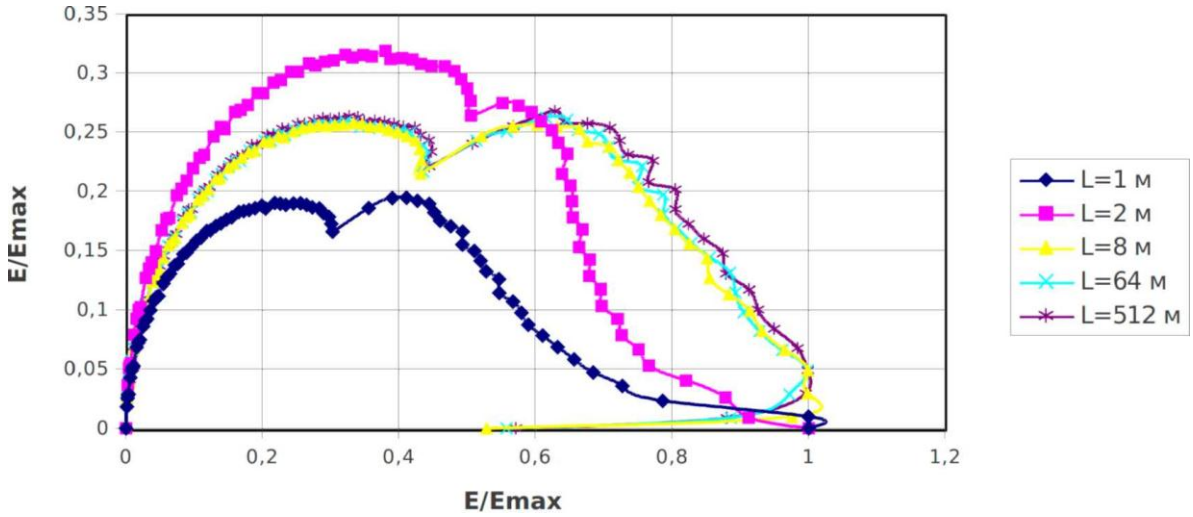


Рис 3 - Чувствительность индикатрисы излучения двигателя в зависимости от расстояния, на котором производятся замеры

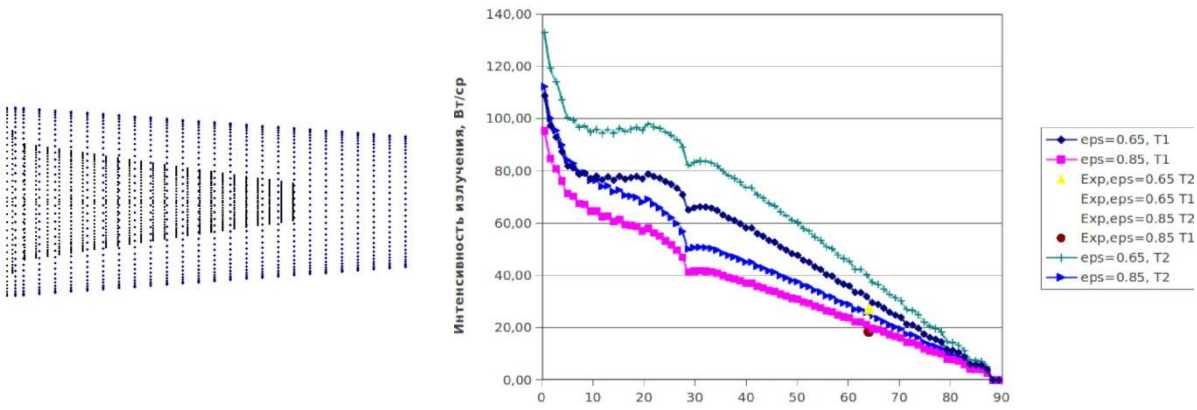


Рис 4- Расчётная модель излучателя, результаты расчёта и замеры в точке

На рис. 4 представлены результаты расчёта по программе МАИ [8] в совокупности с экспериментальными замерами, выполненными с помощью тепловизора (рис. 2). Оценка данных показала их качественное соответствие. В результате пробных замеров было установлено, что при использовании тепловизора необходимо располагать массивом калибровочных данных, которые могут установить соответствие некалиброванного сигнала матрицы тепловизора и потока от модели чёрного тела. Желательно также располагать специальным программным обеспечением для обработки термограмм, которое способно обрабатывать данные тепловизора попиксельно и суммировать входящий сигнал.

Достигнутый технический уровень проведения экспериментов на текущий момент позволяет проводить исследования, аналогичные западным. Методики моделирования ИК-излучения пока в значительной степени уступают западным аналогам, однако, уже позволяют проводить сравнения различных моделей и проводить количественные расчёты излучения уже производимой техники. Экспериментальная проверка разработанных программ выведет работы, проводимые на кафедрах 201 и 208 в области изучения эмиссионных характеристик авиационных двигателей и разработки новых методов снижения заметности, на новый уровень.

Список литературы

1. *Thompson J, Birk AM, Cunningham M.* Design of infrared signature suppressor for the Bell 205 (UH-1H) helicopters, Part I: aerothermal design. In: Seventh CASI propulsion symposium, 1999.
2. *Ponton T., Warnes G.,* Helicopter IRS engine integration for the "FIRST" technology demonstrator programme. Proceedings of GT2007—ASME Turbo Expo 2007: Power for Land, Sea and Air May 14-17, 2007, Montreal, Canada.
3. *Shripad P. Mahulikar, Hemant R. Sonawane, G. Arvind Rao,* Infrared signature studies of aerospace vehicles Collection and simulation of spatial infrared signatures of military jet aircraft; Elseiver, 2007.
4. *Mahulikar, S.P., Prasad, H.S.S., & Potnuru, S.K.,* 2008 (May-Jun), Infrared signature suppression of helicopter engine duct based on "conceal and camouflage", Journal of Propulsion & Power, Vol. 24, No. 3, pp. 613-618.
5. *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.
6. *Guarnieri, J.A.,* Thermal signature reduction through liquid nitrogen and water injection. Master's thesis, Texas A\& M University, College Station, TX, December 2004.
7. *Leonard, 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.
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

И.Е. Евдокимов, Г.С. Филиппов, А.А. Яковлев к.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
«МАИ», НИЦ НТ при МАИ
Москва, tempero.m@gmail.com

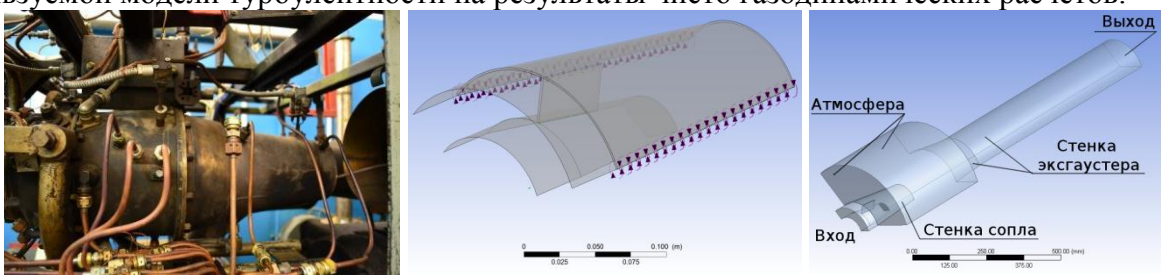
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ И ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ РАБОТЫ ДОЗВУКОВОГО СОПЛА МАЛОГАБАРИТНОГО ТРД НА БАЗЕ ТУРБОСТАРТЕРА ТС-21

Рассматриваются результаты численного исследования работы дозвукового сопла малогабаритного ТРД на базе турбостартера ТС-21. Представлены результаты моделирования в среде ANSYS CFX течения в сопле и теплообмена при различных значениях y^+ на стенке сопла. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными. Выделены направления для дальнейшей работы.

Ключевые слова: *выходное устройство, сопло, турбостартер, ТРД, двигательная установка (ДУ), летательный аппарат (ЛА), моделирование, теплообмен, ИК излучение, ANSYS CFX.*

Исследования проводились на стенде, оснащённом модифицированным турбостартёром ТС-21 (см. рис. 1а). Оригинальная конструкция турбостартёра была изменена: вместо турбины 2 ступени и выходного вала установлено центральное тело и коническое дозвуковое сопло. Сам двигатель установлен на стенд, оснащённый устройством измерения тяги. Выхлопные газы отводятся в эксгаустер, представляющий собой протяжённую трубу диаметром в два раза большим диаметра сопла.

Цель работы состояла в моделировании теплообмена при различных значениях y^+ на стенке сопла (рис. 1б, в), без значительного снижения относительных параметров качества сетки (например, коэффициента роста элементов) по мере возможности. Также была выполнена промежуточная задача изучения влияния размера и качества расчётной сетки, и используемой модели турбулентности на результаты чисто газодинамических расчётов.



а) б) в)

Рис. 1 - Внешний вид ТС-21 с соплом (а), стенка сопла со стойкой (б), схема граничных условий задачи (в)

Граничные условия задачи назначались, исходя из известного расчёта турбостартёра по среднему сечению. Принятые значения параметров приведены в таблице 1. Кроме того, согласно расчёту двигателя по среднему сечению, на входе в сопло задавалась закрутка потока. Угол абсолютной выходной скорости равен α=45°06'53".

Сетки, использованные для анализа влияния дискретизации, сильно отличались как по количеству элементов, так и по качеству дискретизации пристеночного слоя. В таблице 2 приведены параметры сеток, и наихудшие показатели по качеству, которые относятся к не более чем 1% от общего количества элементов. Ликвидация таких элементов зачастую сопряжена с большими трудностями, т.к. они могут быть рассредоточены по большим

площадям и стандартные алгоритмы сглаживания сеток слабо справляются с улучшением сетки, а иногда даже приводят к ухудшению исходной сетки.

Таблица 1. Граничные условия расчёта

Граничное условие	Значение параметров	Дополнительные условия
Вход (Inlet)	m=0,377333 кг/с	T*=933,394 K
Атм-ра (Atm)	Rel. Press = 0 (Pa)	-
Выход (Outlet)	Rel. Press = 0 (Pa)	-

Наихудшие параметры итоговых расчётных сеток, использованных для расчёта теплообмена при y^+=20 и y^+=6 приведены в таблицах 3 и 4 соответственно. В ходе расчётов большой интерес представляла сетка с y^+=1, однако получение такой сетки было весьма затруднено в силу существенного роста количества элементов для всего домена в целом и ограниченности вычислительных ресурсов.

Таблица 2. Параметры сетки в газодинамическом расчёте, наихудшие показатели качества (менее 1% элементов для всех сеток).

Domain	Ort. Angle	Exp. Factor	Aspect Ratio	y^+_{max}	Эл., млн.
Сетка 1, k-ε	25.2	59	82	40	1.4
Сетка 2, k-ε	22.4	222	60	20	5.0
Сетка 3, SST	25.2	62	311	4	6.4

Таблица 3. Параметры сетки для расчёта теплообмена при y+=20

Domain	Ort. Angle	Exp. Factor	Aspect Ratio
FLUID	22.4	222	60
SOLID	67.1	5	10
Global	22.4	222	60

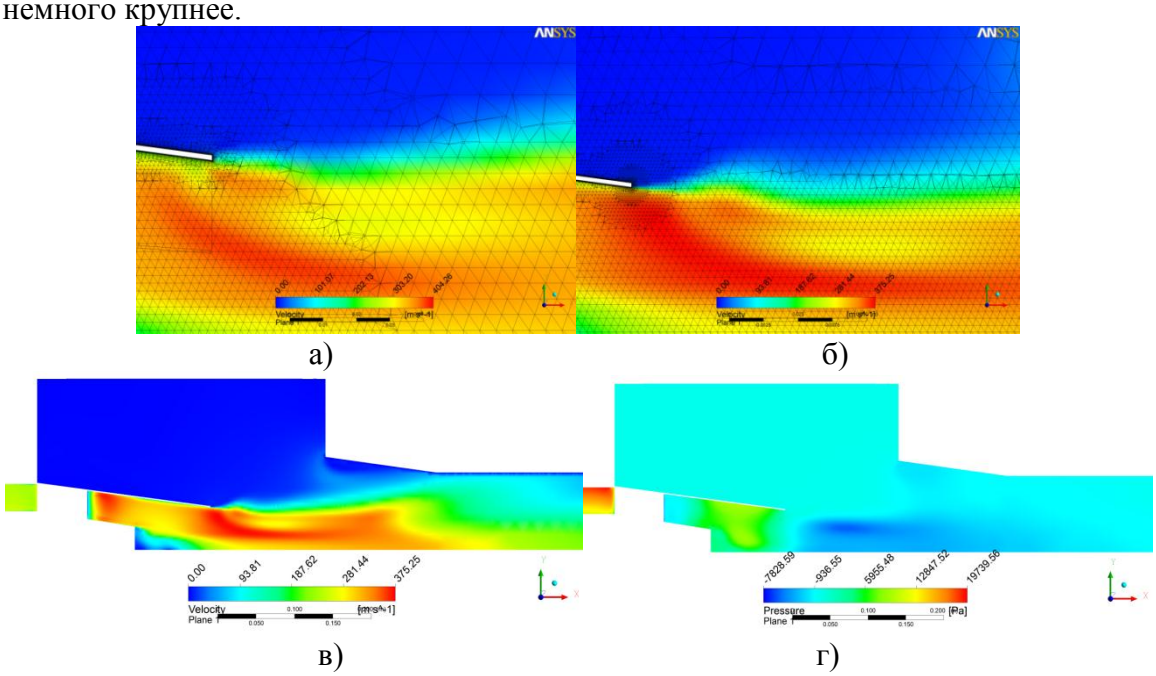
Таблица 4. Параметры сетки для расчёта теплообмена при y+=6

Domain	Ort. Angle	Exp. Factor	Aspect Ratio
FLUID	33.6	46	301
SOLID	67.1	5	10
Global	33.6	46	301

Во всех случаях расчёта сопряжённого теплообмена качество сетки, вообще говоря, не удовлетворяет требованиям ANSYS CFX, однако, в обоих расчётах количество «плохих» элементов не превышает одного процента от общего количества элементов в сетке.В итоге, для менее подробной сетки y^+=20, общее количество элементов составило 5004483, для y^+=6 - 6387200.

Как показал гидродинамический расчёт, сетка 1 (1,4 млн., k-ε) и сетка 2 (5 млн., k-ε) не сильно отличаются друг от друга по характеру получаемых результатов для течения в целом. Оба решения отличаются друг лишь локальными эффектами, которые могли отличаться существенно для различных сеток в особых местах – например, срезе сопла, где располагается торец тонкой стенки, и несущественно в области выхлопной трубы, далее по потоку.

Расчёт на мелкой сетке 3 (6 млн., SST, y^+_{max}=6) привёл к подобной картине, полученной ранее на менее требовательной модели турбулентности k-ε и менее подробных сетках. Надо отметить, что разные модели турбулентности при разном y^+ показывают разную точку отрыва на поверхности сопла непосредственно за стойкой (что коррелирует с размером вихря позади стойки). Вихревая структура для последней сетки в целом является ещё более сложной, чем изображённый в предыдущем случае, вихрь, определяющий отрывы у стенки сопла немного крупнее.



а) б)

в) г)

Рис. 2 - Результат расчёта для сетки 3, распределение скоростей (а,б), поле скорости (в), поле статического давления

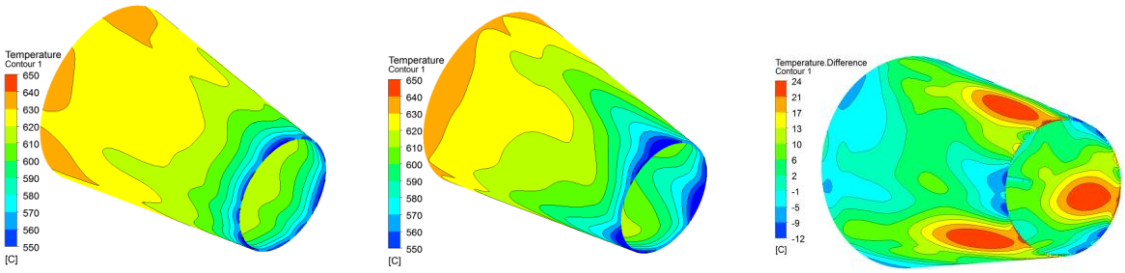
На рис. 2 приведены локальные изображения результатов расчёта для двух сеток примерно одного масштаба (размер порядка 6-6.5 млн. эл.). Моделирование выполнялось с использованием одной и той же модели турбулентности SST. При сравнении рисунков 2а и 2б, можно отметить в целом сильную зависимость результатов расчёта в конкретном месте расчётного домена от параметров дискретизации пространства. Обнаружение эффектов на границе потока – прерогатива эксперимента, т.к. в целом сильного влияния на результат расчёта (и, особенно, расчёта теплообмена у стенки сопла) установить невозможно, а проводить серию экспериментов исключительно для получения независящих от качества сетки результатов в конкретном регионе является трудоёмкой и сложной задачей.

Относительная достоверность трёхмерного газодинамического расчёта контролировалась по имеющимся данным расчёта по среднему диаметру, которые практически совпали. Исходными данными к расчёту в CFX служил расход и направление потока – лучшее сочетание граничных условий для расчётов в ANSYS CFX. Более точная проверка требует соответствующего экспериментального оборудования. Согласно газодинамическому расчёту по среднему сечению абсолютная скорость на выходе из 1 ступени турбины составляет 245,108 м/с, а абсолютная среднемассовая скорость на входе в расчётный домен равна 240,566. Расхождения расчётов по скорости не превышают 2%. Дополнительно к приведённым результатам расчётов на разных сетках, на рисунках 2в и 2г приведены поля распределения скорости и статического давления.

На рис.3 приведены изображения расчётных температурных полей, полученных для задач с различной сеткой (по количеству элементов расчётные сетки одного порядка, различна только толщина первого пристеночного элемента).

Решения, представленные на рис. 3а и 3б не имеют существенных различий в экстремальных температурах, достигаемой на расчётной поверхности, однако поля температур различны — это хорошо видно по линиям изотерм. Приведём изображение

разницы значений температур в каждой точке поверхности (рис. 3в). На рис. 3в хорошо виден локализованный характер разницы в решении, полученном при более подробной дискретизации пограничного слоя, относительно задачи с менее подробным разбиением пограничного слоя и большим первым элементом у стенки. В целом большая относительная погрешность находится как раз в зоне эффектов, порождаемых вихрем, образующимся из-за продольной стойки , искривлением и поджатием потока. Максимальные расчётные температуры в конструкции, по понятным причинам, достигаются в стойке сопла. При замерах температур тепловизором, это место является труднодоступным, поэтому результаты не приводятся.



а) б) в)

Рис. 3 - Расчётная температура y^+=20(а), расчётная температура y^+=6 (б), разность расчётных температур (в)

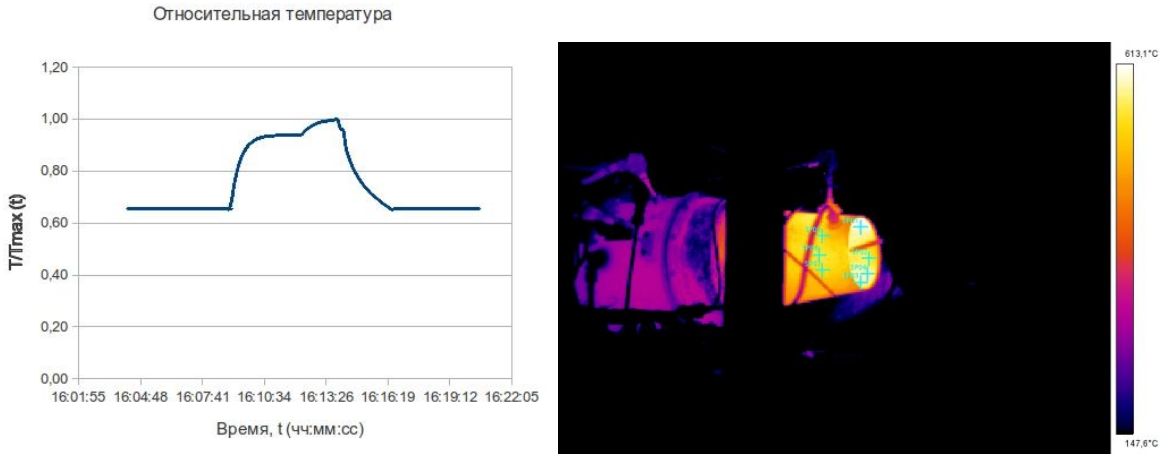
Изначально, тепловизионная съёмка двигателя ТС-21 использовалась в целях проверки программы расчёта лучистых потоков. Поэтому используемый массив экспериментальных данных с прошедших запусков отличается тем, что тепловизор был установлен на некотором расстоянии от двигателя (примерно 2 м), под углом к соплу. Установка контрольной термопары была затруднена в силу формы сопла и сложности конечной проверки показаний. Кроме того при съёмке с такого расстояния она фактически была бесполезна. Для более надёжных измерений, включающих в себя определение степени черноты поверхностей объекта, необходима работа с конкретными образцами материала, либо установка нескольких термопар на поверхностях сопла. Предварительные расчёты помогают определить удобное положение для размещения датчиков.

Несмотря на то, что точное определение степени черноты в технике тепловизионной съёмки занимает ключевое положение, при ограниченных возможностях, допустимо назначать степень черноты материала экспертным образом, исходя из марки материала, состояния излучающей поверхности и температуры. Недостатком этого метода является его субъективность. При назначении степени черноты использовалось во-первых руководство [3], поставляемое вместе с тепловизором, во-вторых справочник [4]. Материал сопла — жаропрочный сплав Х18Н10. В диапазоне длинных волн 8-14 мкм в [3] отсутствуют данные для окисленной нержавеющей стали при температуре примерно 600 °С. Для обработанной песком нержавеющей стали при 700 °С интегральная по спектру степень черноты равна 0.7, для сплава 8% никеля, 18% хрома при 500 °С — 0,35. По сравнению с [3], данные [4] более полны, также в [4] приведена формула для расчёта степени черноты шероховатой поверхности:

$$\varepsilon_{ш}=\varepsilon(1+2{,}8(1-\varepsilon)^2).$$

При степени черноты исходного материала 0,35, степень черноты шероховатого, вычисленная по формуле равна 0,76. Это хорошо согласуется с степенью черноты 0,7 для поверхности, обработанной песком .

На рис. 4а приведён график изменения температуры в некоторой точке поверхности, по которому можно составить представление о режиме работы двигателя. Максимум графика соответствует n=86%, полка перед максимумом n=62%. Далее работа будет производиться с изображениями, отснятыми 16:13:45-16:13:57 (температурные поля незначительно варьируются по значению температур), т. е. с расчётом на то, что следом за первой полкой идёт вторая, на уровне $T\backslash T_{max}$=1.



а) б)

Рис. 4 - Режим работы двигателя (по отношению температур)
термограмма двигателя t=16:13:57, с расположением точек замера температур

Таблица 4. Результаты измерений и расчётов

Точка	$T_{р\text{-}т}$, С	$T_{изм}$, С	Δ, %
SP01	600	606	-1
SP02	575	541	+6,2
SP03	585	577	+1,1
SP04	560	576	-2,8
SP05(нар.)	615	525	+17,1
SP06(нар.)	605	534	+13,2
SP07(нар.)	590	530	+11,3

В таблице 4 приведены результаты расчёта и термографических измерений для точек, изображённых на рис 4б Точность измерений не рассчитывалась в силу того, что степень черноты назначалась экспертным образом. Также никак не была учтена форма сопла, т.е. различные угловые коэффициенты, под которыми наблюдается коническая поверхность с одной точки. Внесение таких поправок требует серьёзной работы с полученными результатами и в этом случае будет необходима цифровая обработка выходных данных тепловизора. Все изложенные факторы так или иначе влияют на расчёт и в сумме могут давать значительную погрешность.

В целом, выбранный метод моделирования адекватно отражает температурное состояние сопла и, в среднем, даёт небольшую погрешность результата, поэтому работы в направлении создания работоспособной и пригодной для точных тепловых расчётов математической модели сопла в комплексе ANSYS CFX будут продолжены.

В качестве приоритетных направлений будущей работы необходимо выделить:

1. подробную съёмку тепловизором поверхностей сопла, увеличение разрешения термограмм (установка тепловизора ближе к объекту наблюдения).
2. увеличение точности и совершенствование техники термографии применительно к данному случаю, т.е. измерение степени черноты образцов материала сопла, либо установка двух-трёх контрольных термопар на поверхностях, видимых под прямым углом.
3. возможное использование системы зеркал для наблюдения поверхностных температур стойки сопла.

В перспективе, выполнение вышеизложенных пунктов позволит проверить методику расчёта в программном комплексе ANSYS CFX с учётом многих параметров расчётных моделей.

Список литературы

1. *Евдокимов, И.Е., Николаенко, В.С., Яковлев, А.А., Филиппов, Г.С., Ященко, Б.Ю,* Исследование тепловой заметности малогабаритного авиационного двигателя, V Всероссийская научно-техническая конференция молодых специалистов. Материалы конференции: Уфимск. моторостр. произв. объединении. – Уфа, УМПО 2011. – 108 стр.
2. *Евдокимов И.Е., Сорокин А.А.,* Моделирование излучения струи горячих газов в ANSYS CFX // Вестник двигателестроения. – З.: ОАО «Мотор Сич», 2010. – Вып. 2/2010. – с. 29-33.
3. ThermaCAM Researcher Professional, User's manual, FLIR v. 2.9, 2009.
4. *Криксунов, Л.З.,* Справочник по основам инфракрасной техники. - М.: Советское радио, 1978. – с. 86.

05.13.12

И.Е. Жигалов д.т.н., М.И. Озерова

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
кафедра «Инженерной и компьютерной графики»,
Владимир, ozerovam@rambler.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

В работе обоснована необходимость разработки телекоммуникационной информационной системы, сформированы требования к базам данных, приведены структура и основные функции системы.

Ключевые слова: *аналитическая подсистема, принятия решения в условиях неопределенности, космический мониторинг.*

В настоящее время существует много АИС решающих задачи по предупреждению пожаров, однако не существует единой системы мониторинга, прогнозирования и комплексной оценки последствий лесных пожаров и экологических кризисов в реальном времени.

Наиболее комплексное решение данной проблемы возможно в рамках автоматизированной информационно-аналитической системы, обеспечивающей сбор и анализ информации о лесных пожарах и смежных вопросах, а так же обеспечивающей доступ к этой информации заинтересованным сторонам: органам государственной власти, органам муниципальных образований, арендаторам лесного фонда. [1]

Такая комплексная система должна иметь многоуровневую структуру с различными подсистемами сбора, обработки и оперативного распространения информации. Важнейшей составной частью такого уровня системы, несомненно, является космический мониторинг окружающей среды, которая обеспечивает большую обзорность, оперативность и регулярность получения информации [2]. Но космический мониторинг на данное время не может быть применен для определения вероятности возникновения лесных пожаров. Хотя он достаточно успешно применяется для мониторинга и обнаружения очагов лесных пожаров. В 2005 году была разработана и введена в действие система для дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз-ИСДМ), особенностью данной системы является использование большого объема разнородной информации. Применение классических методов консолидации данных не позволяет в полной мере использовать все потенциальные возможности системы. Приведение данных в единые форматы хранения часто затруднительно из-за существенных различий в порядке их поступления. Дополнительную сложность придает и различие точности данных, а также частота их обновления. Дистанционный мониторинг проводимый системой Рослесхоз является комплексом мероприятий по контролю за пожарами на территории лесного фонда Российской Федерации, но не выполняет анализа и прогноза пожаров с учетом экологических, социологических особенностей местности [3].

Для решения поставленной задачи необходимо разработать информационно-аналитический центр дистанционного мониторинга и комплексной оценки последствий лесных пожаров. Данный центр должен представлять собой инструмент с помощью которого осуществляется настройка системы под оперативные и стратегические задачи региона, включает в несколько подсистем (Рис.1):

аналитическая подсистема; анализ риска возникновения пожаров, система оценки и принятия решения в условиях неопределенности.

подсистемы сбора и анализа данных их формализация, обеспечивающая управление представлением аналитических данных обмен пространственными данными между ведомствами.

подсистема моделирования и прогнозирования природного пожара (подсистема прогнозирования).

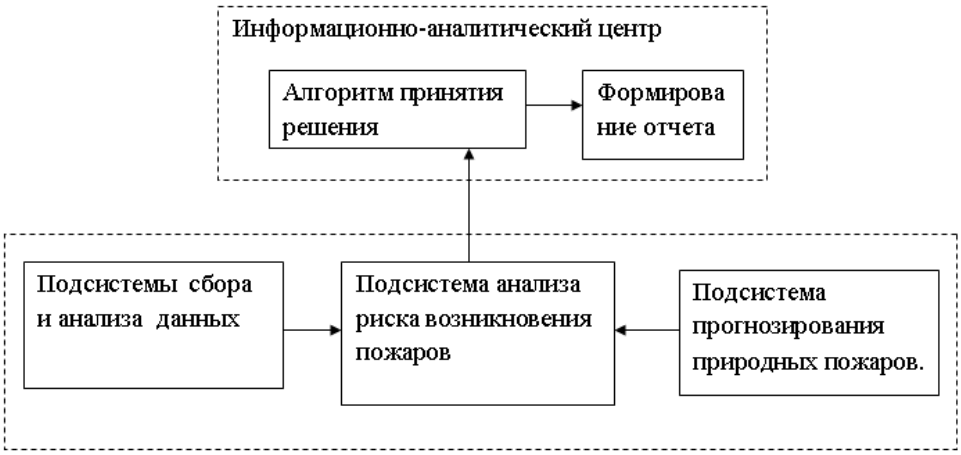


Рис. 1 Функциональная схема аналитического центра
по прогнозированию природного пожара

В качестве объекта информационного менеджмента будем рассматривать ИАС информационно-аналитическую систему $S_{иа}$ систему.

ИАС $S_{иа}$ назовем множество объектов отраслей промышленного производства и объектов природной среды, образующих единую технико-экономическую и экологическую структуру рассматриваемого региона, упорядоченно взаимодействующих друг с другом в процессах обмена информацией, потребления материально-энергетических ресурсов.

Введем обозначения:

$S_д$ –подсистема сбора данных *(БД)*;

$S_р$ –подсистема прогнозирования пожаров *(ПП);*

$S_а$ –подсистема анализа возникновения риска пожаров*(АРП)*;

$S_ц$ –информационно-аналитический центр *(ИАЦ)*;

$X_д$ –вектор внешних воздействий $S_д$ *(БД)*;

$X_р$ –вектор внешних воздействий $S_р$*(ПП);*

$Y_д$ –вектор входных воздействий $S_д$*(БД)*;

$Y_р$ –вектор входных воздействий $S_р$*(ПП)*;

$Z_{да}$ –вектор выходных воздействий $S_а$*(АРП);*одновременно являющихся входными воздействиями $Z_{ца}$ для $S_ц$*(ИАЦ)*;

$Z_{ра}$ – вектор выходных воздействий $S_а$ *(АРП),* являющихся входными воздействиями $Z_{ар}$ для $S_ц$*(ИАЦ).*

$S_р$ –подсистема прогнозирования пожаров

$$S_{\text{р}} \subset \left(X_{\text{р}} \times Z_{x\text{р}}\right) \times \left(Y_р \times Z_{y\text{р}}\right) \quad (1)$$

$S_д$ –подсистема сбора данных;

с (1) в виде

$$S_{\text{д}} \subset \left(X_{\text{д}} \times Z_{x\text{д}}\right) \times \left(\text{Y}_{\text{д}} \times Z_{y\text{д}}\right) \quad (2)$$

$S_а$ –подсистема анализа возникновения риска пожаров;

$$S_{\text{а}} \subset \left(X_а \times Z_{x\text{а}}\right) \times \left(\text{Y}_{\text{а}} \times Z_{y\text{а}}\right) \quad (3)$$

Тогда всю систему в целом - Инфориационно-аналитическим центр $S_ц$ (ИАЦ) представим в виде отношения на декартовом произведении

Определяемое по формуле $S_{\text{ц}} = \Omega(S_{\text{д}} \times S_{\text{р}} \times S_{\text{а}})$ (4)

для S_p и S_e, $S_{\text{а}}$ заданных в виде (1) и (2).

Тогда, допуская возможным, функциональное описание указанных подсистем, полную модель $S_ц$ будем рассматривать в виде

$$Y_p = F_1(u_p, \xi_p, z_{yp}^B, z_{yp}^B); \qquad Z_{yp} = F_2(u_p, \xi_p, z_{\text{уд}}^A, z_{\text{уд}}^B); \tag{5}$$

$$Y_{\text{д}}^A = \Phi_1(u_{\text{д}}, , \xi_p, z_{yp}, y_{\partial}^B); \quad Z_{\text{уд}}^A = \Phi_3(u_e, \xi_e, z_{yp}, z_e^B);$$

$$Y_{\text{а}}^B = \Phi_2(u_{\text{а}}, \xi_{\text{а}}, z_{yp}, y_{\text{а}}^A); \qquad Z_{\text{уа}}^B = \Phi_4(u_{\text{а}}, \xi_{\text{а}}, z_{yp}, z_{\text{уа}}^A)$$

где F_2 и $\Phi_1 \div \Phi_4$ - неизвестные операторы, оцениваемые по анализу результатов статистики природных пожаров прошлых лет и проведения теоретических исследований.

При разработке подсистемы сбора и анализа данных, использовались методики, предложенные в работе Краснобородько А.В. «Исследование и разработка структур баз геоданных информационно-телекоммуникационных систем»[6], которые реализовали обмен пространственными данными между различными ведомствами, созданием структуры данных, которая способна консолидировано хранить метаданные геоданных в распределенной информационно-телекоммуникационной системе. Информация баз данных условно разделена на несколько групп:

1. оперативные базы данных содержат информацию, поступающую с источников натурных измерений объектов ППС (Рослесхоз-ИСДМ). Эта информация поступает в режиме реального времени и требует соответствующих способов хранения и обработки;
2. условно-постоянные базы данных общего назначения (нормативные документы, экономические характеристики и т.д)
3. условно-постоянные атрибутивные базы данных содержат информацию, привязанную к системе координат карты (социальную, экономическую и экологическую);
4. данные информационно-аналитического центра (картографическая информация, электронные карты местности различной целевой принадлежности)

Отличительной особенностью подсистемы анализа риска возникновения пожаров, системы оценки и принятия решения в условиях неопределенности является - нестационарность процессов природных пожаров, исключительная сложность в моделировании, огромный объем информации, подверженной влиянию помех и погрешностей измерения. Когда последствия неизвестны, то под риском принимается вероятность [4] наступления чрезвычайной ситуации, которая наступает в следствии определенного сочетания нежелательных событий. Допустим, что вероятность наступления риска возникновения природного пожара – Q. Так, вероятность события (Q_i) можно охарактеризовать как вероятную (probable), если она занимает в шкале вероятностей диапазон [0,8 – 1,0], возможную (possible) [0,5 – 0,79], маловероятную (unlikely) [0,3 – 0,49], невероятную (incredible) [0,0 – 0,09].

В сложных технических, экономических, социальных системах в условиях высокой неопределенности оценка качества функционирования процессов и прогноз их развития могут основываться на методах анализа ВР, накопленных в результате мониторинга в базах данных.

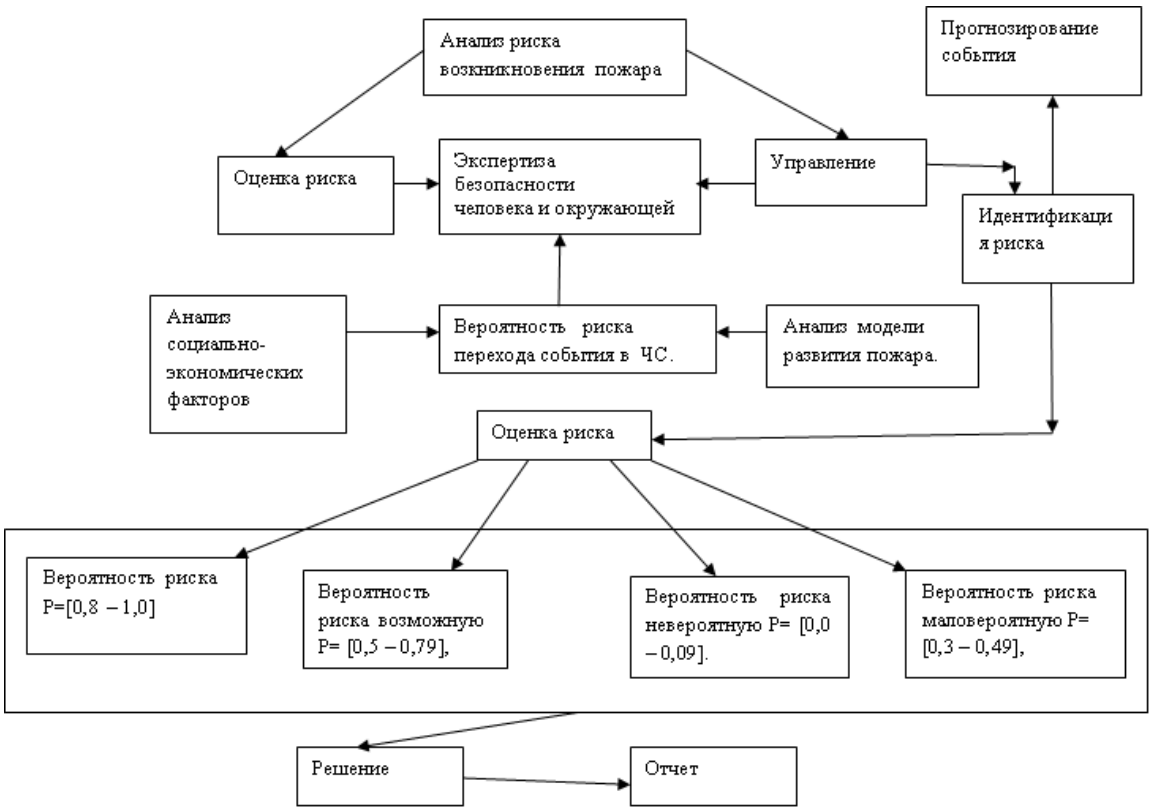


Рис. 2 Схема процедур анализа и управлением риска возникновения природного пожара.

При разработке информационно-аналитического центра ключевым фактором стала необходимость разработке алгоритма прогноза природных пожаров, обеспечение доступности и обмена информацией, в том числе от удаленных источников, возможность ввода через Web-интерфейсы и экспорт из внешних информационных систем. При разработке архитектуры подсистемы сбора и обработки спутниковых данных, была решена задача рационального распределения вычислительных ресурсов для оптимизации затрат при сохранении надежности (часть этапов обработки вынесена на отдельные станции обработки, а часть реализована на серверном оборудовании).

Данная работа проводиться в рамках договора №2012/01 о научно-техническом сотрудничестве по теме «Исследование методов мониторинга, анализа и прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций».

Список литературы

1. *Барталев С.А., Егоров В.А. и др*. Исследование возможности оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений//Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С.

2. *Барталев С.А. и др.* Автоматизированное уточнение площадей, пройденных лесными пожарами, по данным приборов HRV, HRVIR.// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 6. № 2. С. 335-342.

3. *Сментин В.Л., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Ершов Д.В.* Использование специалистами ФГУ "Авиалесоохрана" информационной системы дистанционного мониторинга (ИСДМ РОСЛЕСХОЗ) в целях прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с лесными пожарами. // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. V научно-практическая конференция. Сборник материалов 2005.115с

4. *Кашников В.И.* Оценки риска в природно-техногенных геосистемах // Сборник научных трудов Экологические проблемы промышленных городов Саратов 2011. С.12-15

05.11.13

С.Г. Жуков

Инспекция противопожарной охраны Нижегородского района,
город Нижний Новгород, jsg72@mail.ru

ВОЛОКОННО – ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РАДИАЦИИ В ПНЕВМАТИЧЕСКОМ СООРУЖЕНИИ

В статье рассматривается волоконно – оптическая система мониторинга радиации установленная в пневматическом сооружении. Система позволяет обнаруживать радиацию и осуществлять включение в действие защиту от нейтронного излучения.

Ключевые слова: *волоконно – оптическая система, радиация, нейтронное излучение, датчик радиации, пневматическое сооружение.*

В последние десятилетия учеными проведены научные исследования на выявление воздействия ионизирующего излучения на пропускную способность волоконно-оптических материалов.

В ходе проведенных научных исследований было обнаружено, например, такое качество волоконно-оптических материалов, как чувствительность к ионизирующему излучению [1].

Направлением использования волоконно-оптических технологий является дозиметрия. Так, с помощью волоконных дозиметров можно легко контролировать целые территории радиационно-опасных объектов, безошибочно определяя даже точечные источники радиации. На рис.1 показана принципиальная схема волоконно-оптической дозиметрии радиационно-опасного объекта.

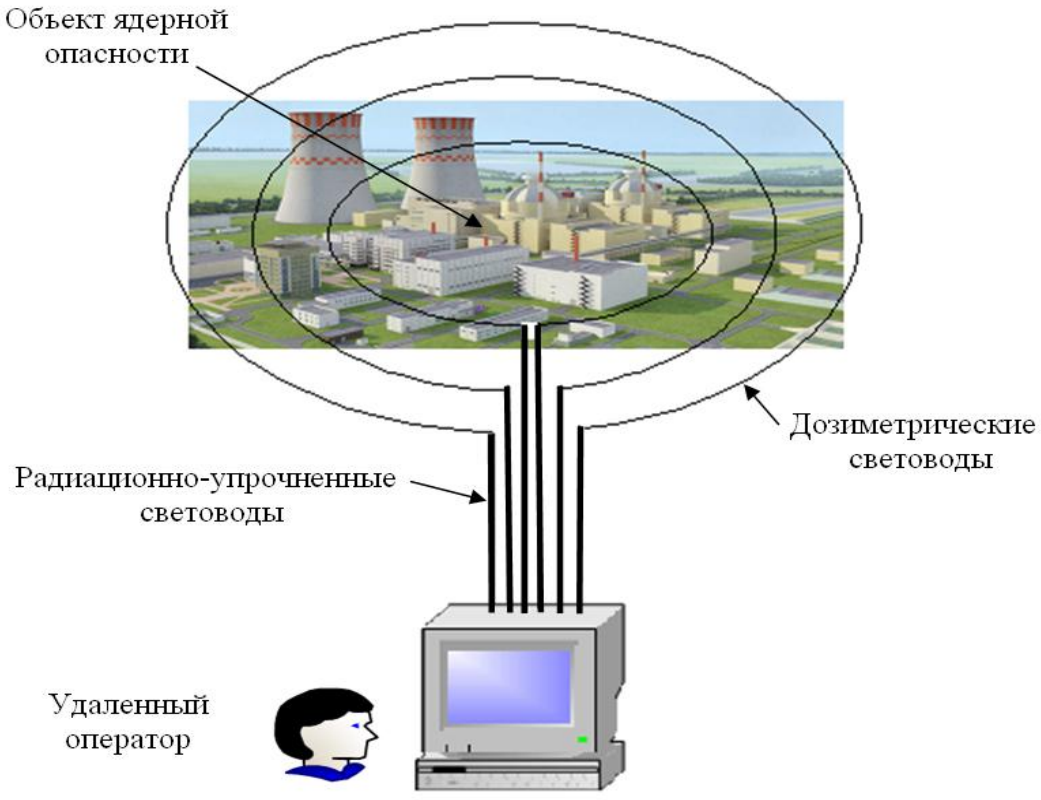


Рис.1- Принципиальная схема волоконно-оптической дозиметрии радиационно-опасных объектов

Принцип работы подобных датчиков основан на радиационно-наведенных потерях в волоконном световоде. Здесь анализируется состояние сразу нескольких световодов, проложенных по контролируемой территории. Специальный анализатор в комплекте с компьютером указывает точное местоположение источника радиации и уровень опасного излучения.

Проведенный пример применения волоконно – оптических систем позволяет сделать вывод в том, что такая система может быть использована и в пневматическом сооружении, особенно – это актуально в чрезвычайных ситуациях, когда необходимо защитить различные объекты от радиации в полевых условиях с помощью временных сооружений.

Волоконно-оптическая система мониторинга представляет собой оптический тестер, обеспечивающий недорогой способ контроля по принципу «норма-тревога», главным элементом которого является волоконно-оптический световод. Топология укладки световода позволяет охватить всю поверхность силовой оболочки пневматического сооружения. Волоконно-оптическая система закрепляется к полиэтиленовому материалу. Предлагается использовать следующую принципиальную схему и конструктивное решение, рис.2 и рис.3.

Волоконно-оптическая система мониторинга состоит из трех основных частей: источник излучения, волоконно-оптический световод, измеритель оптической мощности. Волоконно-оптический световод соединяются с помощью оптических соединителей.

Источник излучения, содержащий светодиод, генерирует световой луч, который, проходя по световоду, теряет некоторую часть своего потока вследствие ряда причин и, в частности, в результате внешнего воздействия на световод. Любое механическое или тепловое воздействие на световод порождает геометрическое изменение его формы или микроповреждение, что автоматически влечет изменение мощности светового потока, фиксируемой измерителем. На этом основан принцип мониторинга контролируемого фрагмента конструкции, оснащенной волоконно-оптической системой мониторинга.

Пневматическое сооружение состоит из: пневмокаркасной силовой оболочки состоящей из наружного слоя 1 и среднего слоя 2, внутреннего слоя 3. Между слоями установлены ребра жесткости 4. Для повышения защиты и ослабления нейтронного излучения пространство между внутренним и средним слоями заполнено пеной 5 противонейтронного излучения которую создает пеногенератор 6 двухстороннего действия, установленный между внутренним и средним слоями оболочки, внутри коньковой части сооружения. Емкость 7 трубчатого сечения предназначено для сбора раствора разрушенной пены. Насосный агрегат 8 подает по гибкому эластичному трубопроводу 9 раствор к пеногенератору, забор раствора осуществляется из емкости по трубопроводу. Эластичный трубопровод закреплен к внутреннему слою 3 с помощью гибких тесёмок 10 при помощи, которых также крепится тканеплёночный утеплитель 11. К утеплителю с помощью непрерывных подвижных нитей 12, пропущенных через кольца подвесов подвешен полиэтиленовый материал с волоконно-оптический сеткой 13. Концы подвижных нитей закреплены к анкеру 14. Для нормального функционирования сооружения требуется поддержание избыточного давления воздуха между наружным и средним слоями оболочки её создает вентиляционная установка 15 [3] .

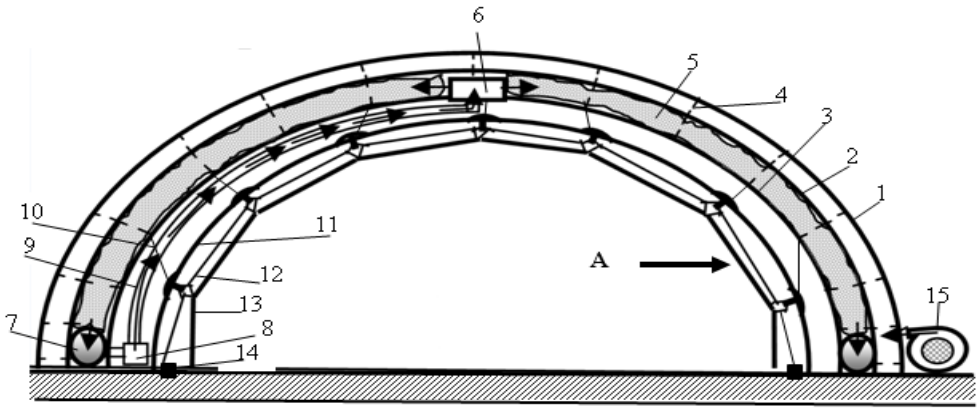


Рис. 2- Принципиальное конструктивное решение ПС контролирующее, защищающее и ослабляющее нейтронное излучение.

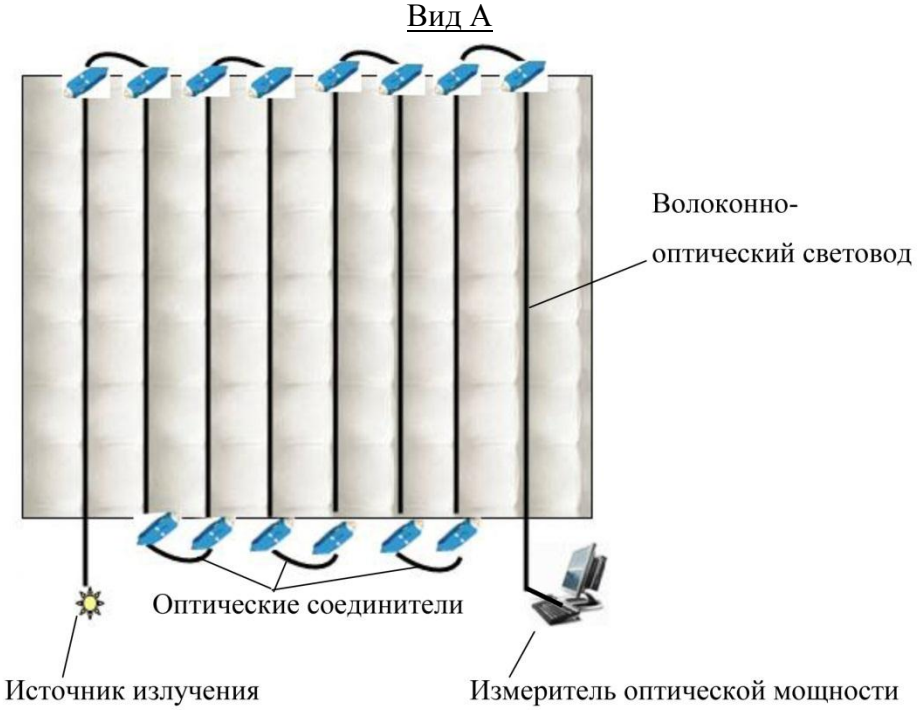


Рис. 3- Общий вид

При достижении заданного критического значения, означающего наличие радиации, волоконно-оптическая система мониторинга сигнализирует оператору через электронный блок обработки сигналов об необходимости включения в работу защиту от нейтронного излучения.

Список литературы

1. *Фаустов А.В., Гусаров А., Лиокумович Л.Б., Котов О.И., Вульпар М. П., Мегре П.* Волоконно-оптическая дозиметрия с учетом эффекта температурного просветления на базе когерентной частотной рэфлектометрии // Материалы выступления на 22-й международной конференции «Лазеры. Измерения. Информация» 5–7 июня 2012, Санкт-Петербург, 2012
2. Волоконно-оптические световоды и датчики предупредят техногенные катастрофы. http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2003/01/10/139370#5 (дата обращения: 18.11.2012).
3.Защита от электромагнитного излучения: монография / Г.П. Жуков, С.Г. Жуков. Тольятти, 2010.-128 с.

05.22.10

Н.С. Захаров д.т.н., Г.В. Абакумов к.т.н.,
П.В. Евтин к.т.н., А.С. Елесин

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, eom@tsogu.ru

ПЛАНИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ЭЛЕМЕНТАХ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ СЕЗОННОЙ ВАРИАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

В работе предложена методика определения потребности в элементах тормозной системы для транспортных предприятий, которая базируется на закономерности формирования ресурса элементов тормозной системы автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации.

Ключевые слова: *ресурс элементов тормозной системы, сезонные условия эксплуатации, коэффициент корректирования, нормирование ресурса.*

Автомобильный и специальный транспорт – неотъемлемый элемент нефтегазового комплекса. Наряду с очевидными преимуществами перед другими видами транспорта он имеет и ряд недостатков, в частности, высокую себестоимость перевозок; значительный социально-экономический ущерб, наносимый дорожно-транспортными происшествиями. Последнее объясняется большим удельным весом транспортных средств, имеющих длительные сроки эксплуатации, в том числе за пределами установленного ресурса, и низкую техническую надежность.

Важнейшие условия снижения этих затрат и обеспечения безопасности движения – управление ресурсом тормозной системы автомобиля, которое невозможно без наличия объективных нормативов. Действующая система нормирования ресурсов тормозных систем автомобилей не в полной мере отвечает данным требованиям. На ресурс тормозных систем автомобилей влияет ряд факторов. К числу наиболее значимых относятся климатические и дорожные условия, которые меняются по сезонам. Влияние сочетаний условий и интенсивности эксплуатации автомобилей в настоящее время не учитывается при нормировании ресурсов.

На основе изложенного, а также, учитывая, что более 70 % территории России находится в зонах холодного и очень холодного климата, а интенсивность эксплуатации автомобилей в этих условиях существенно меняется в течение года, необходимо отметить актуальность исследований направленных на установление закономерностей влияния сезонных условий на формирование ресурса тормозных систем автомобилей.

Проведенные авторами исследования позволили:

– установить закономерность формирования ресурса тормозной системы автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации;

– разработать имитационную модель формирования ресурса тормозной системы автомобилей;

– установить вид математической модели влияния температуры воздуха на износ элементов тормозной системы автомобилей;

– экспериментально определить численные значения параметров математической модели для элементов тормозной системы автомобилей КамАЗ.

Аналитические исследования показали, что для моделирования процесса формирования ресурса элементов тормозной системы автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации практически невозможно использовать

аналитическую модель. Для разработки модели формирования ресурса элементов тормозной системы автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации автомобилей необходимо учитывать закономерность приращения наработки и изменения показателей основных эксплуатационных факторов во времени. Для дифференциального показателя, каким является интенсивность расходования ресурса элементов тормозной системы автомобилей, с учетом закономерностей изменения наработки и условий эксплуатации по времени можно записать в общем виде

$$y = f(L(T); X(T)) \quad (1)$$

Чтобы получить аналогичное выражение для интегрального показателя, каким является расход ресурса, воспользуемся методом замены переменных при интегрировании:

$$Y = Y_0 + \int_{T_0}^{T_i} y(L(T); X(T)) \cdot dT \quad (2)$$

Закономерности изменения наработки и условий эксплуатации по времени описываются достаточно сложными трехкомпонентными моделями, поэтому вычисление последнего интеграла аналитическим путем практически невозможно. Следовательно, для получения численного решения необходимо использовать имитационную модель.

При имитационном моделировании учитывались следующие основные принципы. В основе модели лежат закономерности изменения потока отказов автомобилей, который является случайной величиной, и интенсивность ее приращения зависит от различных факторов. Интенсивность эксплуатации величина случайная, имеет сезонную неравномерность. Наработка автомобиля имеет фиксированное значение на начало процесса моделирования. Имитационная модель формирования ресурса элементов тормозной системы автомобилей реализована в виде программного пакета «RESURS-TS». Программа позволяет генерировать массивы наработок элементов тормозной системы автомобилей до предельного состояния в различных условиях, рассчитывать корректирующие коэффициенты, а также временные ряды параметров технического состояния.

Разработка и реализация имитационной модели по формированию ресурса элементов тормозной системы автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации позволила разработать методику корректирования ресурса элементов тормозной системы автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации.

$$L = k_k'' \cdot L' = k_k' \cdot k_k'' \cdot L_T \quad (3)$$

Численные значения k_k', определенные на основе расчетов на имитационной модели, приведены в таблице.

Численные значения коэффициента корректирования ресурса тормозных колодок в зависимости от климатических условий

Климатический район	Численные значения k_k' для тормозных колодок		
	КамАЗ	Урал	МАЗ
Очень холодный	0,80	0,83	0,85
Холодный	1,00	1,03	1,02
Умеренно холодный	0,99	1,00	1,00
Умеренный	1,00	1,00	1,00

Коэффициент k_k' аналогичен коэффициенту k_3', приведенному в "Положении о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта". Значения k_k' наиболее близки к значениям k_3', предназначенным для корректирования периодичности ТО.

Для определения корректирующих коэффициентов k_k'' разработана методика, основанная на расчетных износах по месяцам года, полученных исходя из средней интенсивности изнашивания фрикционных накладок и пробега автомобиля за месяц. Значения расчетных износов суммируются. После того, как суммарный износ достигает величины допустимого износа, определяется условный пробег тормозной колодки до замены и корректирующий коэффициент. Расчет корректирующих коэффициентов k_k'' проводился на имитационной модели.

Проведенные исследования позволили разработать методику определения потребности в элементах тормозной системы для транспортных предприятий.

Целевая функция, используемая при разработке методики планирования потребности в элементах тормозной системы, имеет вид:

$$P = D - \sum_{i=1}^{n-1} R_i - S_{ОФТ} \rightarrow max, \quad (4)$$

где P – прибыль предприятия;

D – доходы предприятия;

$S_{ОФТ}$ – затраты на оборотные фонды в запасах элементов тормозной системы;

$\sum_{i=1}^{n-1} R_i + S_{ОФТ}$ – сумма всех расходов предприятия.

Вывод расчетной формулы для определения потребности в элементах тормозной системы производился на основе уравнения баланса ресурса элементов тормозной системы, имеющихся в транспортном предприятии на начало года, а также элементов тормозной системы, имеющихся на предприятии на конец года и расхода ресурса в течение года.

В результате преобразования получили следующую формулу:

$$T_н = A\left[n\left(\frac{L_г}{L_н \cdot (1+ab)} - f \right) - \frac{1}{T_{сл}} \right], \quad (5)$$

где $T_н$ – потребность АТП в новых элементах тормозной системы на планируемый год;

A – среднесписочное количество автомобилей;

n – средневзвешенное количество тормозных механизмов на один автомобиль;

$L_г$ – среднегодовой пробег одного автомобиля;

$L_н$ – ресурс до замены новых элементов тормозной системы;

a – отношение ресурса восстановленных элементов тормозной системы к ресурсу новых;

b – доля новых элементов тормозной системы, пригодных после замены к восстановлению;

f – отношение количества новых автомобилей, поступающих в АТП в плановом году, к среднесписочному количеству автомобилей.

Установлено, что при изменении температуры воздуха в течение года меняется интенсивность изнашивания элементов тормозной системы. Летом при высоких температурах воздуха интенсивность изнашивания элементов тормозной системы значительно выше, чем зимой. Поэтому в летние месяцы количество элементов тормозной системы, достигающих предельного состояния, больше, чем зимой. Это ведет к увеличению потребности в заменах элементов тормозной системы в летний период по сравнению с зимним.

Если при планировании поставок элементов тормозной системы их расход принять постоянным в течение года, то для обеспечения работы автомобилей без простоев из-за отсутствия элементов тормозной системы необходимо месячную потребность в заменах устанавливать на уровне потребности для месяца с максимальным расходом.

Устранить указанный недостаток можно путем корректирования потребности в элементах тормозной системы по месяцам года, что позволит снизить их запасы и сократить стоимость

оборотных фондов. Уменьшение стоимости оборотных фондов ведет к сокращению времени оборота оборотных средств и снижению себестоимости перевозок.

В соответствии с предлагаемой методикой потребность в элементах тормозной системы $T_{нi}$ для i - го месяца определяется

$$T_{нi} = \frac{T_н}{12} \cdot k_i, \qquad (6)$$

где k_i - коэффициент корректирования потребности в элементах тормозной системы по месяцам года;

$T_н$ – годовая потребность в элементах тормозной системы.

Использование предложенной методики на практике позволяет более точно определять нормы, создает предпосылки для эффективного управления ресурсом элементов тормозной системы автомобилей. В результате повышается долговечность элементов тормозной системы автомобилей, и снижаются затраты на ремонт.

05.22.10

Н.С. Захаров д.т.н., Г.В. Абакумов к.т.н.,
В.Н. Карнаухов д.т.н., А.С. Елесин

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, eom@tsogu.ru

ВИРТУАЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ

В работе рассматривается процесс создания виртуального тренажера, позволяющего моделировать технологические процессы диагностирования технического состояния тормозных систем автомобиля.

Ключевые слова: *виртуальный тренажер, диагностирование, тормозная система автомобиля, сезонные условия.*

В настоящее время решение проблемы создания научных и учебных лабораторий возможно за счет разработки виртуальных тренажеров.

Использование виртуальных тренажеров эффективно с точки зрения значительных материальных затрат на использование технологического оборудования и спецтехники для научных и образовательных целей. Основными целями при создании виртуального тренажера являются:

- изучение конструкции тормозного стенда СТС-10У-СП;
- изучение технологии диагностирования автомобиля на тормозном стенде;
- моделирование и исследование ресурса деталей тормозной системы с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации автомобилей.

Основной сложностью при создании виртуального тренажера является разработка математической модели, учитывающей наиболее значимые факторы. От качества полученной математической модели зависит функциональность виртуального тренажера и соответственно качество лабораторных и экспериментальных работ.

В основе математической модели используется диагностическая матрица, составленная на основании анализа структурно-следственной модели тормозной системы автомобиля и статистических данных о неисправностях, возникающих в процессе эксплуатации тормозов.

В результате анализа взаимосвязи сезонных условий эксплуатации автомобилей и технического состояния тормозных систем автомобилей выявлены факторы (рис.1), влияющие на показатели, характеризующие техническое состояние тормозной системы в условиях неравномерности потока отказов. Дальнейшие исследования позволят выявить закономерности влияния этих факторов на формирование трудоемкости работ текущего ремонта (ТР) тормозных систем автомобилей и корректирование нормативов ресурса их деталей с учетом сезонных условий эксплуатации автомобилей.

Рис. 1- Взаимосвязь сезонных условий эксплуатации автомобилей и их технического состояния

Задачей данной работы является имитация проведения диагностирования тормозного управления на тормозном стенде СТС-10У-СП. Задачей проведения диагностирования является контроль эффективности рабочей и стояночной тормозных систем и устойчивости при торможении легковых и грузовых автомобилей, автобусов, автопоездов.

После анализа полученной информации была разработана технологическая последовательность операции по работам на тормозном стенде. На основании этой последовательности проведены работы по визуализации объектов – силового тормозного стенда.

Моделирование происходит в 2 этапа.

1. Геометрическое моделирование, в ходе которого создается геометрическая форма объекта.

2. Текстурирование, в ходе которого создается развертка всех сторон объекта на одну плоскость.

Визуализация объектов производилась с помощью полигонального моделирования. При помощи инструментов моделирования были созданы трехмерные модели объектов силового тормозного стенда (рис.2).

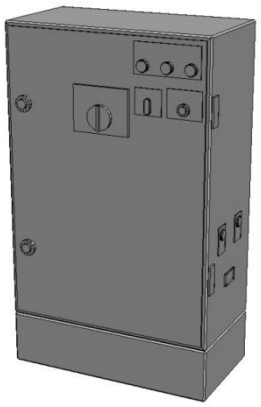


Рис. 2- Геометрия трехмерного объекта элемента силового тормозного стенда

Создание развертки происходит при помощи модификатора Unwrap UVW.

Следующим этапом после создания геометрии и развертки объектов является создание цветного рисунка – текстуры, имитирующей природные свойства материалов, из которых состоит реальный объект (рис.3).

Рис. 3- Текстура модели шкафа силового

В итоге после создания текстуры для объекта и ее применение к нему, создается готовая модель, которую уже можно загружать в конструктор виртуальных тренажеров «MaxPlay» (рис.4).

Рис. 4- Готовая модель шкафа силового

В качестве среды для разработки имитатора тормозного стенда СТС-10У-СП был выбран конструктор виртуальных тренажеров «MaxPlay», разработанный в научно-исследовательском институте электронных образовательных ресурсов ТюмГНГУ (НИИ ЭОР), интерфейс и фрагмент кода программы которого представлены на рис. 5, 6.

Виртуальные тренажеры позволят достичь максимальных результатов в обучении для получения практических навыков при постоянных тренингах.

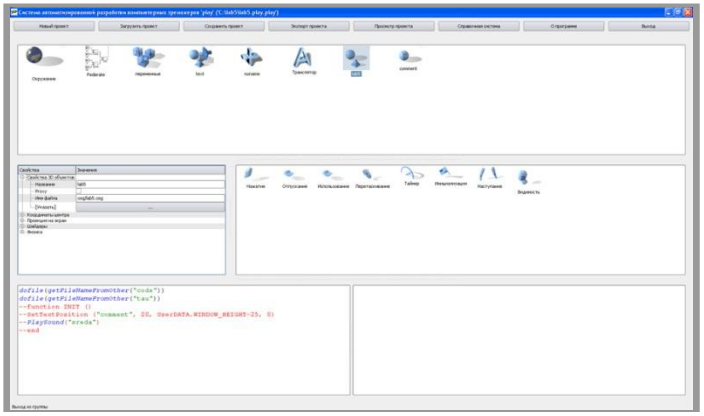


Рис. 5- Интерфейс конструктора «MaxPlay»

```
function stop_animation()
animation=0
SetPauseAnimation("vaz_group",true,true)
SetPauseAnimation("gr_rollers",true,true)
stop_anim_timer=main_timer
end

function INIT()
temp_x,temp_y,temp_z = AGetPosition("dum_left_whell")
SetTextPosition ("left_whell",temp_x,temp_y,temp_z)
SetTextRotate2("left_whell", math.rad(80),1,0,0,0,0,1,0,math.rad(90),0,0,1)

temp_x,temp_y,temp_z = AGetPosition("dum_right_whell")
SetTextPosition ("right_whell",temp_x,temp_y,temp_z)
SetTextRotate2("right_whell", math.rad(80),1,0,0,0,0,1,0,math.rad(90),0,0,1)

temp_x,temp_y,temp_z = AGetPosition("dum_os_whell")
SetTextPosition ("os_whell",temp_x,temp_y,temp_z)
SetTextRotate2("os_whell", math.rad(80),1,0,0,0,0,1,0,math.rad(90),0,0,1)

stop_animation()
```

Рис. 6- Фрагмент кода программы

Виртуальные тренажеры также позволят исследовать закономерности влияния различных факторов на формирование трудоемкости работ ТР тормозных систем автомобилей и корректирование нормативов ресурса их деталей с учетом сезонных условий эксплуатации автомобилей.

05.22.10

Н.С. Захаров д.т.н., Г.В. Абакумов к.т.н.,
П.В. Евтин к.т.н., А.Е. Мироненко

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, eom@tsogu.ru

АНАЛИЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ СЕЗОННЫМИ УСЛОВИЯМИ И ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОБОРУДОВАНИЕМ ЗОНЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

В работе производится анализ причинно-следственных связей сезонных условий и потребления электрической энергии оборудованием зоны технического обслуживания и ремонта подвижного состава автотранспортного предприятия.

Ключевые слова: *сезонные условия, климатические факторы, эксплуатационные факторы, потребление электроэнергии, техническое обслуживание и ремонт автомобилей.*

Существенное влияние на потребление электрической энергии оказывают климатические факторы (температура окружающего воздуха, длительность светового дня, атмосферное давление, скорость ветра, уровень солнечной радиации, количество атмосферных осадков, продолжительность зимнего периода и прочие факторы). Именно они в значительной мере определяют как сезонные, так и суточные колебания графиков электропотребления. Также стоит отметить, что интенсивность и условия эксплуатации автомобильного транспорта имеют тенденцию к периодическому изменению в течении года, что влияет на поток отказов автомобилей, который, в свою очередь, определяет неравномерность загрузки оборудования зоны технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) автомобилей. Исследование причинно-следственных связей между этими факторами и электропотреблением позволяет оценить степень влияния сезонных условий на расход электрической энергии при техническом обслуживании и ремонте автомобилей с целью внедрения научно обоснованных норм и прогнозов потребления электрической энергии оборудованием ремонтной зоны.

Зона ТО и Р представляет собой комплекс сооружений и механизмов, а также ручной и пневматический инструмент, собранные в одном месте для полноценного комплексного ремонта и обслуживания автомобилей [1]. Приемниками электроэнергии зоны ТО и Р [2] выступает следующее оборудование:

- силовые промышленные установки (компрессоры, вентиляторы и насосы);
- подъемно-транспортные устройства (подьемники, краны, электротали и кран-балки);
- электрические осветительные установки (общее и местное освещение);
- электродвигатели производственно-ремонтных механизмов (станки токарные, сверлильные и пр.);
- электрические печи и электротермические установки (обогрев помещений, нагрев и сушка деталей из металла, вулканизация резиновых и пластмассовых изделий, дуговая и контактная сварка).

Потребление электрической энергии оборудованием зоны ТО и Р периодически изменяется в течение года. Потребность в освещении помещения зависит от внешней освещенности и длительности светового дня и значительно повышается от летних месяцев к зимним. Потребление электроэнергии электрическими обогревателями напрямую зависит от температуры в зоне ТО и Р, практически отсутствует в летние месяцы, повышается осенью, зимой достигает своего максимума, а весной снова снижается.

Расход электроэнергии силовыми установками, подъемно-транспортными устройствами,

электродвигателями производственно-ремонтных механизмов и электротермическими установками специального назначения зависит от потребности в проведении работ по ТО и Р, которая, в свою очередь, опирается на изменения сезонных и эксплуатационных факторов. Суммарное потребление электрической энергии таким оборудованием остается относительно стабильным в течение года. Также стоит отметить, что оборудование, относящееся к этой группе, в большинстве случаев функционирует кратковременно и по мере необходимости.

Из вышесказанного следует вывод, что потребление электрической энергии в значительной степени зависит от изменения сезонных условий. Факторы, оказывающие влияния на эти изменения можно разделить на две группы:

- эксплуатационные факторы;
- климатические факторы.

Эксплуатационные факторы опираются на изменение интенсивности эксплуатации парка автомобилей и техники (влияют на состояние парка в целом, вследствие чего наблюдаются большие периодические наплывы автомобилей в зону ТО и Р) и характер работы автотранспортного предприятия (сельхозперевозки, пассажирские перевозки, нефтегазодобывающая отрасль и др.) [3].

Климатические факторы характеризуются температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением, длительностью светового дня, скоростью ветра, уровнем солнечной радиации, количеством атмосферных осадков, продолжительностью зимнего и летнего периода и другими факторами. Кроме того, от климата зависят дорожные условия.

Для более детального ознакомления с причинно-следственными связями между сезонными условиями и потреблением электроэнергии оборудованием зоны ТО и Р на рис. 1 представлена схема.

После отбора сезонных факторов определялась степень их влияния на интенсивность потребления электроэнергии. Теснота парных корреляционных связей между факторами и функциями отклика оценивалась по величине коэффициентов парной корреляции.

Рис. 1- Схема причинно-следственных связей между сезонными условиями и потреблением электроэнергии оборудованием зоны ТО и Р

Значимость коэффициентов корреляции проверялась по критерию Стьюдента. Корреляционная связь считалась значимой, если выполнялось условие [4]:

$$t = \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}}\sqrt{n-2} \geq t_P,$$

где t_P – табличное значение критерия Стьюдента для доверительной вероятности P и n-2 степеней свободы.

В результате проведенных оценок выяснилось, что эксплуатационные факторы имеют слабую или практически отсутствующую корреляцию с количеством электроэнергии, потребляемой оборудованием зоны ТО и Р.

При анализе влияния климатических факторов выяснились иные обстоятельства. Теснота парной корреляции каждого из сезонных факторов с потреблением электроэнергии во всех случаях характеризовалась как сильная или очень сильная. Значимость коэффициентов корреляции показала, что коэффициенты корреляции всех сезонных факторов, за исключением уровня солнечной радиации, прошли проверку по критерию Стьюдента. Однако использование такого количества факторов в практических расчетах является нецелесообразным. Поэтому дополнительно был проведен анализ корреляционных связей климатических факторов между собой.

Оценка значимости коэффициентов парной корреляции по критерию Стъюдента показала, что все факторы, кроме доли дней с осадками, имеют существенную линейную корреляционную связь с температурой воздуха. Этот факт позволяет использовать ограниченное количество сезонных факторов - температуру окружающей среды (рис. 2) и количество дней с осадками (рис. 3), при расчете норм и прогнозов электропотребления при техническом обслуживании и ремонте автомобилей.

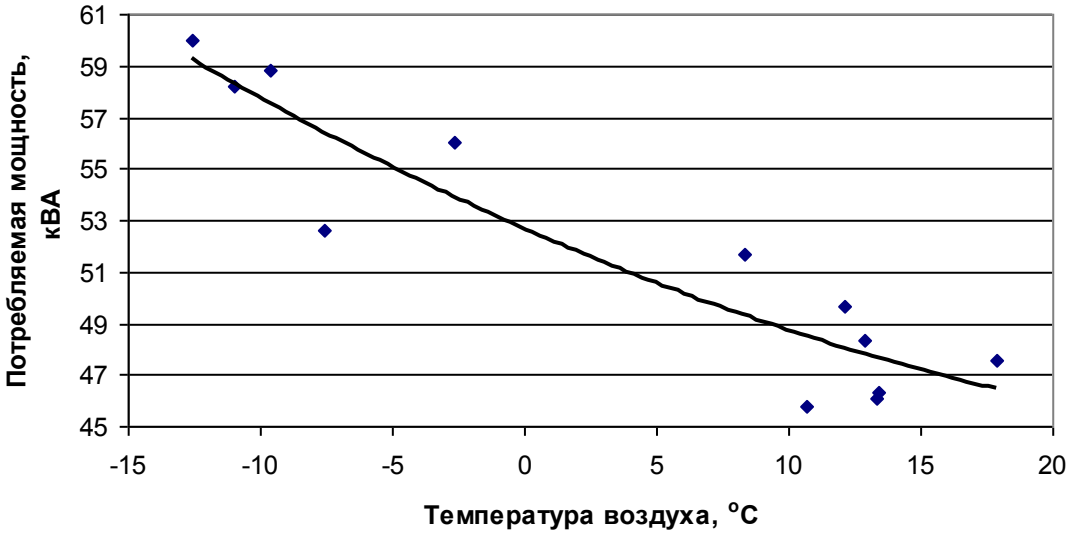


Рис. 2- Влияние температуры окружающей среды на потребление электроэнергии

Таким образом, анализ причинно-следственных связей сезонных условий и потребления электрической энергии показал, что при расчете норм и прогнозов электропотребления при техническом обслуживании и ремонте автомобилей можно использовать два фактора – температуру окружающей среды и количество дней с осадками.

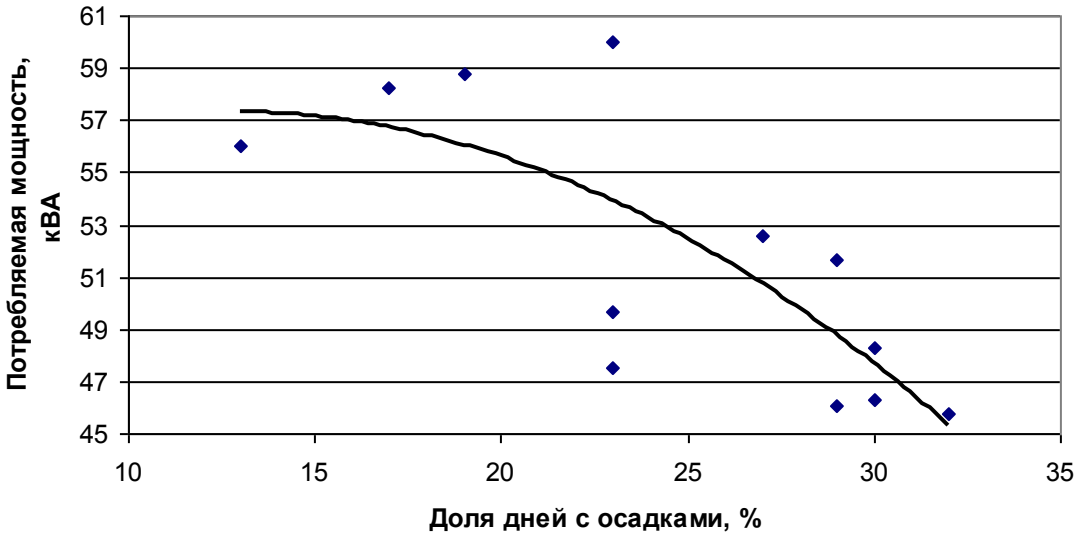


Рис. 3- Влияние доли дней с осадками на потребление электроэнергии

Список литературы

1. Станция технического обслуживания // URL:– http://ru.wikipedia.org/wiki/станция_технического_обслуживания (дата обращения: 07.10.2012г.).

2. *Шеметов А.Н., Ротанова Ю.Н.* Электроснабжение и электрооборудование автотранспортных предприятий. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – 171 с.

3. *Сергиенко Е.В.* Оптимизация количества постов текущего ремонта с учетом неравномерности поступления автомобилей: дис. канд. техн. наук: 05.22.10. Тюмень, 2004. – 165 с.

4. *Захаров Н.С.* Программа «REGRESS». Руководство пользователя. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 40 с.

05.17.11

А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов д.т.н., А.О. Артемов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Механико-технологический факультет,
кафедра Сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ НА ИЗГИБ

Работа посвящена исследованию деформации и разрушения синтетических минеральных сплавов методом трехточечного изгиба, установлено, что при такой нагрузке в материале возникают как растягивающие, так и сжимающие нагрузки, что подтверждается при изучение изломов методом электронной микроскопии

Ключевые слова: *синтетический минеральные сплавы, прочность при изгибе, анизотропия, излом.*

Введение

Создание новых материалов предполагает изучение их механических характеристик. Такие исследования позволяют определить наиболее выгодные условия эксплуатации материала и изделий из него, а так же выявить, технологические пути управления этими прочностными характеристиками.

Особенно важно детально исследовать результаты механических испытаний для материалов со структурой, в которой прослеживается размерная иерархия, а так же для материалов с анизотропными механическими свойствами.

Синтетические минеральные сплавы (симиналы) [1-3] являются материалами, сочетающим в себе и анизотропию и сложную иерархию в своем строение. Это материалы, полученные из расплавов, имеют многофазную структуру, включающую в себя кристаллические минеральные составляющие и аморфную фазу. С точки зрения механических свойств они отличаются хрупкостью, низкой прочностью при растяжении и высоким пределом прочности при сжатии (220-250 МПа) [4].

Величина прочности при сжатие для симиналов является наиболее стабильным показателем из всех прочностных характеристик, поскольку на другие, в частности на предел прочности при изгибе, в значительной степени оказывает влияние размерный фактор образцов. Это вызвано тем, что при изгибающих нагрузках в одних участках образца возникает деформация сжатия, а в других деформация растяжение. Однако, при испытаниях и эксплуатации данное обстоятельство не учитывается.

Цель и задачи исследования

В данном исследование преследуется цель - изучить особенности процесса деформации и разрушения симинала при изгибающих нагрузках по методу трехточечного изгиба и изучить поверхности разрушения образцов после испытаний.

Методы исследований

Механические испытания были проведены на универсальной испытательной машине марки Zwick – Z250 (Германия) [5]. В процессе испытаний фиксируются значения подаваемой нагрузки, момент инерции, величина деформации и продолжительность испытаний. Управление ходом испытаний и фиксирование их результатов производится с помощью персонального компьютера синхронизированного с установкой.

В данной работе в качестве образцов использовали бруски в форме параллелепипеда размером 100х25х20 мм (рис. 1), вырезанные из отливок, полученных из симинала базальтового типа [6] при статической заливке расплава в металлический кокиль. Резка образцов осуществлялась сырым способом алмазным кругом на плиткорезе ТС-200. При резке образцов осуществлялся отступ от краев отливки на 25мм, поскольку в зоне контакта расплава со стенкой кокиля могут быть участки с напряженной структурой. Скорость нагружения была постоянной и составляла V=1 мм/мин. В ходе испытаний образец постоянной площадью поперечного сечению устанавливался на две неподвижные опоры в виде роликов, затем пуансоном (сосредоточенная нагрузка) проводили нагружение образца в середине пролета между опорами (рис. 2).

Рис. 1. Внешний вид образцов

Рис. 2. Образец, установленный в машину перед проведением испытания

Исследование поверхности в месте разрушения образца проводили методом электронной микроскопии на установке JOEL JSM63090LV.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных испытаний была установлена графическая зависимость величины деформации от величины нагрузки (рис. 3), численные параметры экспериментов и полученные результаты представлены на рис. 4. Величина предела прочности на изгиб составила 68МПа, величина деформации при этом составила 0,2 – 0,3 мм. Полученные данные говорят о характерном хрупком разрушении.

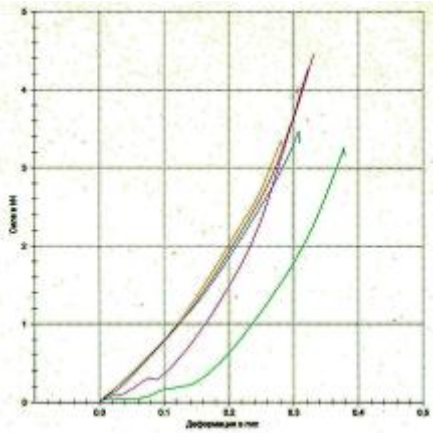


Рис. 3 Результат испытаний симинала на изгиб

Обозначение	Nr	Дата/время	$E_{изг.}$ GPa	$F_{макс}$ N	$\sigma_{и}$ MPa	dL при $F_{макс}$ mm	$\varepsilon_{и}$ %	W до $F_{макс}$ Nmm	S_0 mm^2	$t_{испытания}$ s
	1	08.09.2010 12:25:47	13,7	4450	71,25	0,3	0,47	560,08	442,88	20,55
	2	08.09.2010 12:32:24	18,7	3260	52,53	0,4	0,49	348,96	401,35	23,41
	3	08.09.2010 12:37:51	16,6	3470	66,83	0,3	0,40	447,68	399,49	19,18
	4	08.09.2010 12:43:55	19,3	3350	65,38	0,3	0,36	385,41	399,40	17,57
	5	08.09.2010 12:49:11	17,9	4270	72,61	0,3	0,44	435,46	427,96	20,04

Статистика:

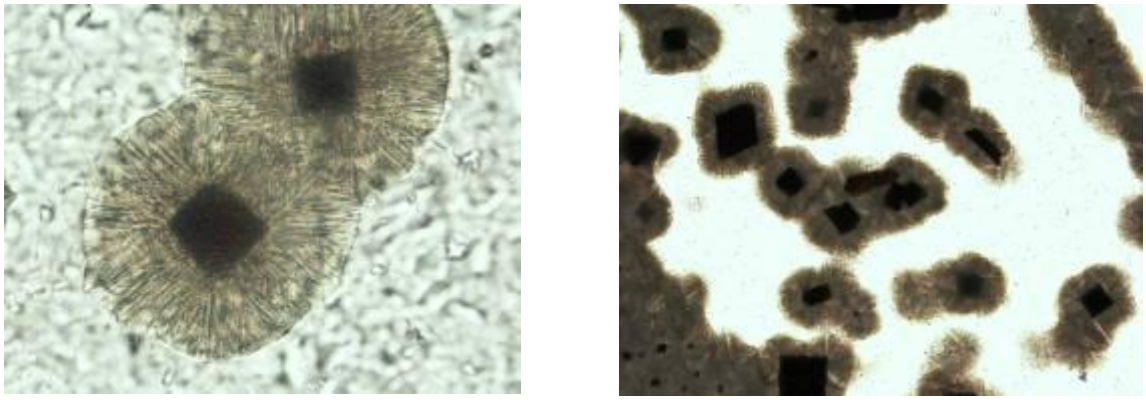
Серия n = 5	$E_{изг.}$ GPa	$F_{макс}$ N	$\sigma_{и}$ MPa	dL при $F_{макс}$ mm	$\varepsilon_{и}$ %	W до $F_{макс}$ Nmm	S_0 mm^2
x̄	17,2	3760	67,72	0,3	0,43	435,52	414,22
σ	2,23	556	4,17	0,0	0,05	80,10	20,08
v	12,93	14,79	6,16	11,08	12,15	18,39	4,85

Рис. 4. Отчетные данные по испытаниям на изгиб

Вопрос исследования механических характеристик симиналов достаточно обширно освящен в работах Б.Х. Хана, И.И. Быкова, З.В. Лурье, И.Е. Липовского, Е.С. Лысенко и т.д. [7-9]. В них отмечается, что в значительной степени на прочностные характеристики симиналов оказывают влияние структурные параметры. Причем в наибольшей степени для

прочностных характеристик важно влияние именно кристаллических составляющих. Отмечается, что для достижения максимальных прочностных показателей предпочтительно наличие в структуре более мелких кристаллических образований, причем они должны быть представлены пироксенитовыми фазами, которые применительно к симиналам склонны образовывать скопления, состоящие из сферолитов.

Исследования структуры материала образцов (рис. 5) [10], указывает на то, что кристаллические составляющие, в структуре образцов, соответствуют рекомендациям указанным в работах предшественников. Они образуют крупное скопление сферолитов, в центре каждого из сферолитов находится ромбический кристалл хромшпинелида, основной ореол состоит из выстроившихся вокруг ромбического кристалла прямоугольных вытянутых образований пироксена, а на границе сферолитов концентрируется стекло-фаза, не имеющая определенной формы. *То есть структура представлена сферическими объектами, состоящими из частей не сферической формы.*

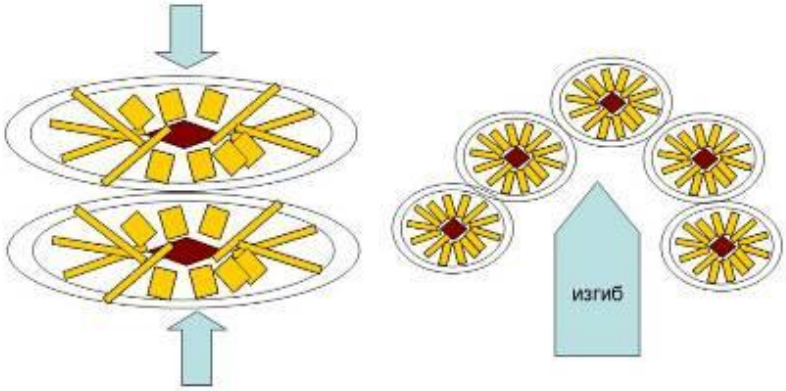


а б

Рис. 5. Структура симинала на оптическом микроскопе:
а – х500 (николи скрещены), б – х200(николи скрещены)

Анализируя результаты механических испытаний на изгиб и сравнивая их с полученными ранее результатами испытаний на прочность при сжатие [11], мы обратили внимание, на то что, диаграммы полученные при изгибе имеют вид плавных линий, отсутствуют характерные пики, которые при испытаниях на сжатие указывали на изменения в структуре, а именно перемещение дислокаций, релаксация за счет поворота кремнекислородных тетраэдров и двойникования. Однако, на некоторых диаграммах по испытаниям на изгиб наблюдаются небольшие площадки. Столь выраженная разница в результатах при испытаниях различными нагрузками, прежде всего характеризует анизотропность симиналов. Кроме этого, эти отличительные особенности указывают на разницу в механизме деформации в том и в другом случае. При сжатие материал не испытывает никаких других нагрузок, начинается процесс деформации с перемещений дефектов строения внутри кристаллов, продолжающийся релаксационными явлениями и двойникованием и заканчивающийся образованием и ростом трещин. При этом сферолиты изменяют свою форму, за счет изменения положения отдельных кристаллов относительно другу друга, но сам сферолит определенное время сохраняет свою целостность за счет пластичности оболочки из стекло-фазы (рис. 6,а). При испытаниях на сжатие был установлен предел ползучести который составляет 5,5%.

При воздействие на образец изгибающей нагрузки, одновременно в отдельных его частях возникают сжимающие нагрузки, а в других растягивающие. Растягивающие нагрузки приводят к быстрому возникновению и росту трещин в стекло-фазе из-за чего материал разрушается практически сразу и при относительно не значительных величинах нагрузки (рис. 6,б). Площадки же на кривых, могут указывать на период, когда действие растягивающих и сжимающих нагрузок компенсирует друг друга.



а б

Рис. 6. Схема поведения кристаллических агрегатов при разных способах деформирования: а – при сжатии, б – при изгибе

Рассматривая анизотропность поведения симиналов в таком контексте, мы дополняем существующие работы, которые отмечают как основную причину анизотропности свойств симиналов технологическими причинами, а именно неравномерность нагрева и охлаждения отливок, неправильный температурный режим кристаллизации и отжига и т.д. [12-13].

Исследования поверхности излома образцов после их разрушения при испытаниях на изгиб с помощью электронной микроскопии подтверждает наши рассуждения.

На снимке, полученном в химическом контрасте, (рис. 7) мы видим обычный ступенчатый излом характерный для хрупких материалов соответствующий теории движения дислокаций Стро-Мотта [14]. Однако, при большем увеличение (рис. 8, а) обнаруживается, что на поверхности излома присутствуют сферолиты, их поверхность попавшая в плоскость излома не покрыта стекло-фазой, даже в участках вскрывшихся пор (рис. 8, б).

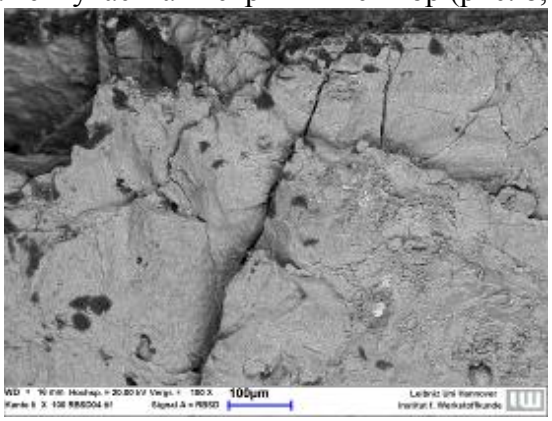
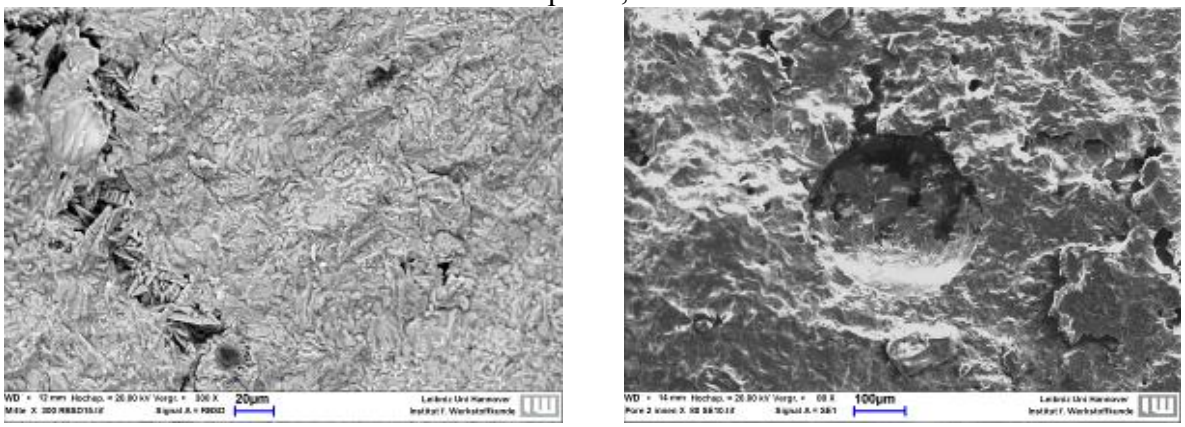


Рис. 7. Поверхность кромки образца после разрушения при режиме химического контраста, х100



а б

Рис. 8. Поверхность кромки образца после разрушения:
а – режим химического контраста, х300; б – режим текстурного контраста, х80

Отдельные участки на поверхности излома представляют собой скопление мелких трещин в одном конкретном месте (рис. 9), некоторые «ступени» излома сильно отличаются от остальных по высоте (рис. 10). Такой характер разрушения свойственен образцам при испытаниях на сжатие. А значит наличие таких участков доказывает, что характер разрушения по всему объему образца при трехточечном изгибе не равномерен. Просматривая эти участки на разных просвечивающих режимах мы установили, что в некоторых из этих участках мы наблюдаем полосчатую неоднородность химического характера. Форма этих полос или пятен не сопоставима с формой кристаллических агрегатов или их скоплений (рис. 11).

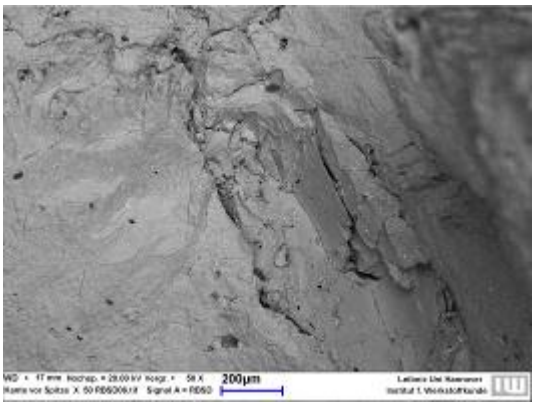


Рис. 9. Скопление трещин в отдельном участке излом, режим химического контраста, х50

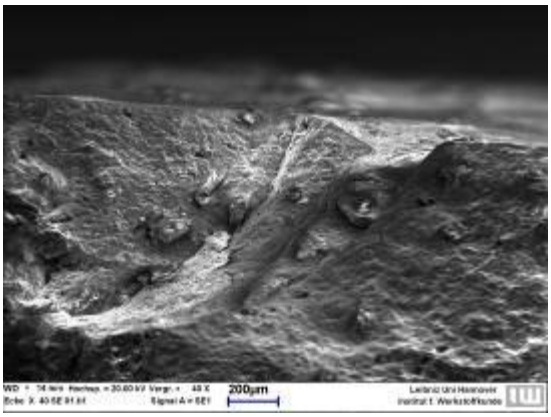


Рис. 10. Поверхность высокой ступени на изломе при режиме текстурного контраста, х40

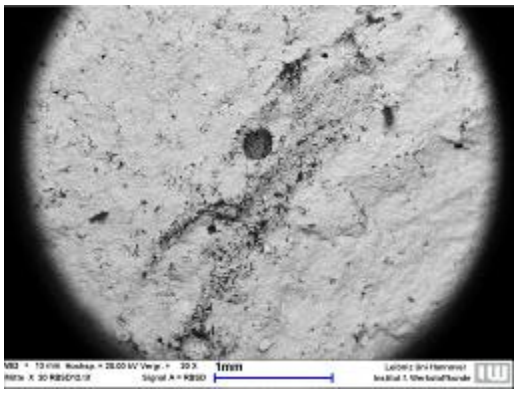
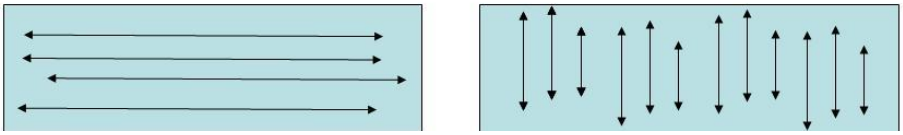


Рис. 11. Участок реликтовой неоднородности, режим химического контраста, х20

Для того что объяснить их происхождение нам пришлось обратится к исследованиям проведанным нами ранее посвященных ликвационным явлениям [15, 16]. В тех публикациях нам удалось привести аргументы в пользу того, что этап ликвационного расслоение расплава на две несмешивающиеся жидкости является обязательным этапом структробразования для всех симиналов, чья оксидная композиция попадает по диаграмме в ту часть, где есть несмесимость, что характерно почти для всех симиналов. Причем не важно остается ли текстура ликвации в затвердевшем материале или нет. Данная полосчатость или пятнистость может быть проявлением реликтовых структур, унаследованных материалом на стадии ликвационной дифференциации. Нам известно, что слои жидкости при ликвации располагаются параллельно к горизонтали, а значит их направление в материале завит от того, как отливка располагалась при заливке.

Следовательно, показатели предела прочности могут быть увеличены при изменение положения отливки в форме при заливке, например при горизонтальной заливке плоской отливки реликтовые структуры будут направлены как на рис. 12, а, а при вертикальной как

на рис. 12,б и для детали под литерой а) можно рекомендовать работу на сжатие, а под литерой б) – при изгибе (например, трубопровод, желоб и т.д.).



а б

Рис. 12. Направление реликтовых текстур в отливке при :
а – горизонтальной заливке, б – при вертикальной

Выводы

Таким образом, изучены особенности процесса деформации и разрушения симинала при изгибающих нагрузках по методу трехточечного изгиба; установлено, что в этом случае деформации в материале анизотропна и в одной части образца возникают растягивающие деформации, а в другой сжимающие. Авторами предложен принцип взаимодействия сферолитов, образующих кристаллическую массу в структуре симиналов, при разных типах нагрузки. При изучение изломов доказано, что при изгибающих нагрузках в отдельных участках обнаружены признаки деформации растяжения и деформации сжатия. Таким образом, объясняется природа анизотропности симиналов. Кроме того, предположительно в структуре симиналов присутствуют реликтовые остаточные явления от ликвационного этапа структурообразования, поведение материала будет зависеть от того как направление нагрузки располагается относительно направлений реликтовых ликвационных явлений. Увеличить прочность в определенном направление отливки можно варьируя ее расположение в форме при заливке.

Список литературы

1. *Игнатова А.М., Ханов А.М., Чернов В.П.* Исследование и разработка основных правил управления структурным миром силикатов применительно к каменному литью. – Сб. тезисов II Всероссийской конференции «От наноструктур, наноматериалов и нанотехнологий к наноиндустрии». – Ижевск: ИжГТУ, 2009. – с. 45.
2. *Игнатова А.М., Каминский М.М., Попов В.Л.* Применение каменного литья в атомной промышленности. – Тр. VI межотраслевой НТК «Автоматизация и прогрессивные технологии в атомной отрасли» - Новоуральск, 2009. – с. 130.
3. *Ignatova A.M., Nikolaev M.M., Khanov A.M., Shundikov N.A.* Technological and functional flowchart of fluorophlogopite production. – Proceedings of the First International Congress «Non-ferrous metals of Siberia-2009». – Krasnoyarsk, 2009. – p. 463.
4. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н., Артемов А.О.* Деформирование и разрушение образцов камнелитых изделий из симиналов типа базальтов в условиях одноосного сжатия. – Тр. V Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования». – Екатеринбург: ГУ УрО РАН. – 2011. – 46-51 с.
5. *Игнатова А.М., Мерзляков А.Ф., Ханов А.М.* Методика и оборудование определение предела механической прочности на сжатие литых образцов синтетических минеральных сплавов.// «Вестник Пермского государственного технического университета «Машиностроение. Материаловедение» . - №3, т.12, 2010.
6. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н.* Материал на основе синтетических минеральных сплавов для цветных дорожных покрытий// Архитектура и строительство России. 2011. № 7. С. 10-17.
7. *Лысенко В.С., Петрова В.З.* Влияние термической обработки на величину модуля упругости кристаллизующихся стекол // Сб. «Проблемы каменного литья». – вып. 2. – 1968. – с. 224-226.
8. *Быков И.И.* К вопросу о возникновение и развитие температурных напряжений в каменном литье// Сб. «Проблемы каменного литья». – вып. 2. – 1968. – с. 221-223
9. *Хан Б.Х., Липовский И.Е.* Исследование свойств каменного литья в зависимости от фазового состава и температуры // Сб. «Проблемы каменного литья». – вып. 2. – 1968. – с. 217-220.
10. *Игнатова А.М.* Использование автоматических методов оптических исследований в изучение структуры каменного литья.// В мире научных открытий. 2010. № 1-4. С. 166-169.
11. *Игнатова А.М* Исследование последовательности структурного искажения синтетических минеральных сплавов при деформации и разрешении методом регистрации акустической эмиссии.// Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 25-31.
12. *Лурье З.В., Шапошников А.П., Романовский М.Б.* Результаты исследований по повышению прочности базальтового каменного литья // Сб. «Проблемы каменного литья». – вып. 2. – 1968. – с. 209-211.
13. *Липовский И.Е., Дорофеев М.В.* Камнелитейное производство. – 1965. – М: Металлургия. – 167 с.
14. *Mott N.F.* // Proc. Roy. Soc. Ser. A Matematical and Phyzical sciences. London. 1953, v. 220, P.l-23.
15. *Игнатова А.М.* Природа ликвационных явлений в синтетических расплавах каменного литья// Успехи современного естествознания. 2010. № 8. С. 22-23.
16. *Игнатова А.М., Наумов С.В., Игнатов М.Н., Пушкин С.А., Суслов С.Б.* Оценка пригодности и доступности базальтоидных и габброидных комплексов западного Урала (Пермский Край) для производства сварочных материалов// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2010. Т. 12. № 4. - с. 104-116.

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

В работе рассмотрено влияние типа источника питания (диодного выпрямителя ВД-306 и инвертора Nebula-315) на химический состав, микроструктуру, механические свойства сварных соединений и санитарно-гигиенические характеристики процесса РДС. Установлено, что тип источника питания сварки оказывает значительное влияние на свойства сварных соединений и санитарно-гигиенические характеристики процесса РДС.

Ключевые слова: *дуговая сварка, тип источника питания, свойства сварных соединений, санитарно-гигиенические характеристики.*

Надежность сварных соединений металлоконструкций во всех отраслях промышленности существенно влияет на безопасность и экономическую эффективность производства, поэтому ее необходимо повышать.

Проведенные исследования показали [1], что при использовании инверторного источника питания изменяется тепловое воздействие дуги на каплю электродного металла. Расчет перегрева капель ΔT_k (среднее значение) электродного металла выше температуры плавления показал, что - при сварке от инверторного источника питания составляет ΔT_k - 410 град, для диодного – 480 град [2]. Перегрев капель электродного металла [3] ведет к изменению процесса протекания металлургических процессов в капле, и как следствие изменение химического состава наплавленного металла шва и сварочного аэрозоля.

Для проведения комплексного исследования были заварены образцы - трубы (соединение С17 ГОСТ 5264-80) 159х6 из стали 09Г2С (электродами: корень - LB-52U (d=2,6 мм), сварочный ток I = 50-60 А, заполнение - LB-52U (d=3,2мм), сварочный ток I = 80 – 90 А) от различных источников питания (диодного выпрямителя ВД-306 и инвертора Nebula-315).

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. Это связано с тем, что Nebula 315 ограничивает ток короткого замыкания [1], тем самым происходит меньшее выгорание легирующих элементов Si на 0,01…0,08% и Mn на 0,08….0,2%.

Таблица 1 - Химический состав металла сварных швов, выполненных из трубы Ø159×6 (сталь 09Г2С) электродами марки LB 52U

Источник питания	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
диодный выпрямитель	0,10	0,52	1,03	0,010	0,014	0,03	0,05	0,03
инвертор	0,09	0,60	1,23	0,010	0,014	0,03	0,06	0,03

Исследование микроструктуры из стали 09Г2С производили по схеме, представленной на рисунке 1. Исходная структура стали 09Г2С в состоянии поставки феррито – перлитная структура. Перлит распределен равномерно (рис. 2 а, б). Количество и характер расположения перлита соответствуют баллу 1В по ГОСТ 5640-68.

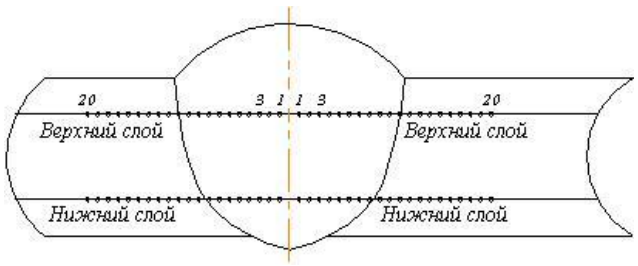


Рис. 1 – Схема проведения микроструктурного анализа (шаг между точками 0,5 мм)

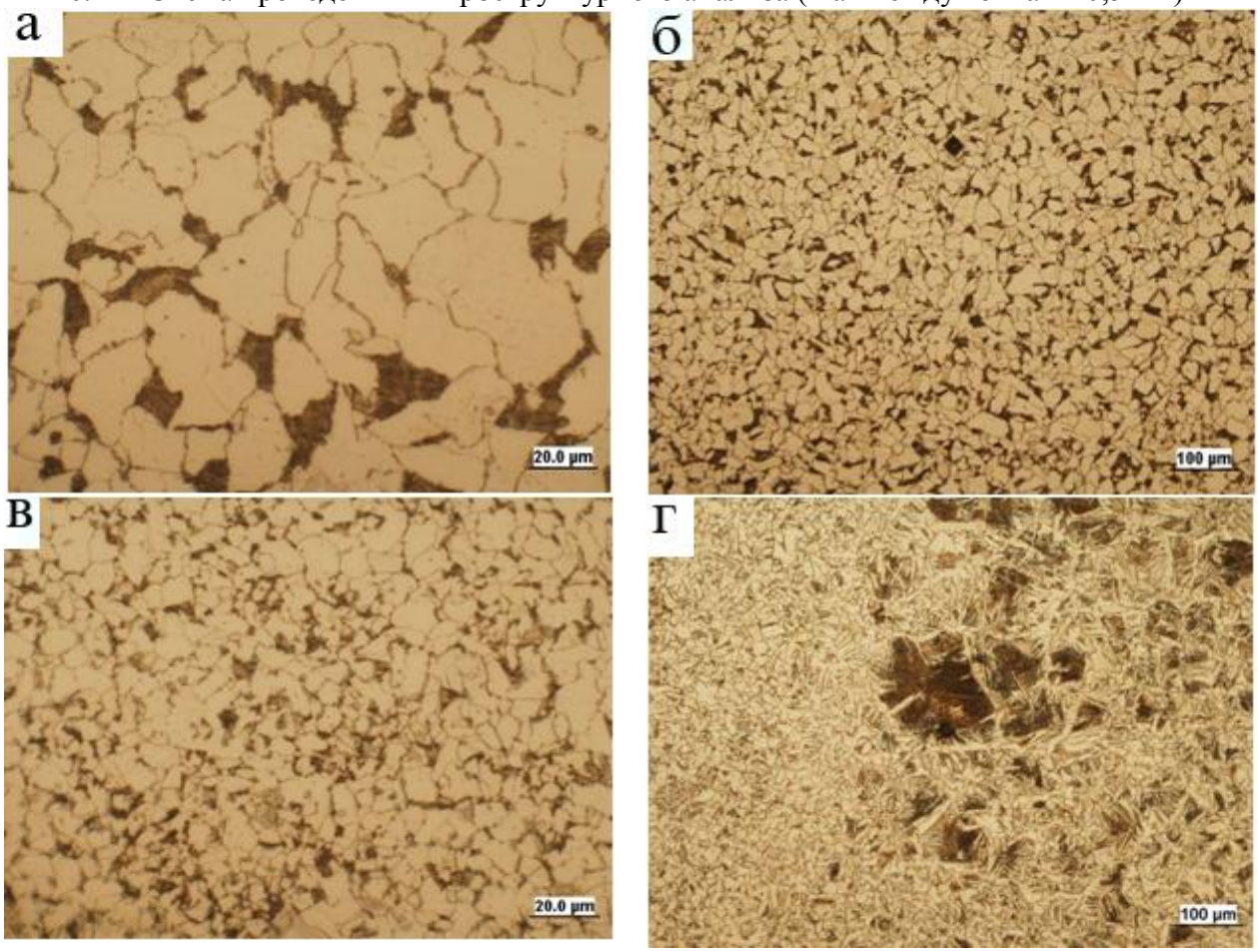


Рис. 2 – Микроструктура сварного шва: а,б - микроструктура стали 09Г2С, в - микроструктура ЗТВ сварного соединения (Nebula - 315); г - микроструктура ЗТВ сварного соединения (ВД-306)

Рассмотрим микроструктуру образца № 1 (Nebula-315). Зона термического влияния – феррито-перлитная структура, измельчается размер зерен феррита, феррит переходит в сорбитообразный. (рис. 2, в). Количество и характер расположения перлита соответствуют баллу 1Б по ГОСТ 5640-68. Структура наплавленного металла шва – феррито – перлитная.

Образец №2 (ВД-306) верхний ряд. В зоне сплавления металла шва и основного металла небольшая область с видманштеттовой структурой - балл 3Б по ГОСТ 5640-68. (рисунок 2, г). Структура шва аналогичная таковой в образце 1. В нижнем ряду по сравнению с верхним рядом исчезает видманштеттова структура в шве и в области основного металла, прилегающего к шву, за счет эффекта автотермообработки.

Отличия, полученные в проведенном исследовании микроструктур сварного шва, можно объяснить меньшим теплосодержанием капли расплавленного электродного металла при сварке от инвертора и повышенным содержанием кремния и марганца (таблица 2), которые, как известно, являются элементами снижающими рост видманштедтового феррита [4], что предполагает и различные механические свойства сварных соединений. Механические свойства сварных соединений выполненных по ГОСТ 6996 -70, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства сварных соединений, выполненных из трубы Ø159×6 (сталь 09Г2С) электродами марки LB 52U

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	0^{0}C	-20^{0}C	-40^{0}C
диодный выпрямитель	541-543 542	120-120 120	201-220 210	212-223 216	200-233 219	143-230 182
инвертор	550-560 556	120-120 120	208-226 217	215-254 235	224-250 237	150-258 193

Результаты экспериментальных исследований по определению влияния энергетических параметров источника питания на количественный состав сварочного аэрозоля по методике [5], представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты анализа выделений пыли, газов и других примесей при РДС

Условия отбора проб	Наименование определяемого элемента	Единица измерения	Источник питания		Предельно допустимая концентрация по ГН 2.2.5.1313 – 03
			инвертор	диодный выпрямитель	
Материалы LB -52U Ø 3,2 мм, Сталь 09Г2С	Углерода оксид	мг/м³	0,05	0,05	20,0
	Двуокись азота		менее 0,6	менее 0,6	2,0
	Фтористый водород		менее 0,02	менее 0,02	0,5
	Сварочный аэрозоль		2,2±0,5	3,6±0,9	
	Хромовый ангидрид		менее 0,003	менее 0,003	0,01
	Оксид хрома		менее 0,5	менее 0,5	1,0
	Марганец		0,10±0,03	0,15±0,03	0,6

Из таблицы 3 видно, что при использовании инверторного источника питания наблюдается меньшая концентрация сварочной аэрозоли и марганца, т.е. снижается риск токсичного отравления и воспаления слизистой оболочки дыхательных путей сварщика.

По результатам проведенных исследований установлено, что при использовании инверторного источника питания происходит меньшее тепловложение в каплю расплавленного электродного металла, что обеспечивает снижение выгорания кремния и марганца, повышение ударной вязкости сварных соединений при отрицательной температуре, снижение риска заболевания дыхательных путей рабочих.

Список литературы

1. *Il'yashenko, D.P.* Determination of metal losses through splashing using different power sources/ D.P. Il'yashenko, E.A. Zernin// Welding International. 2011. Vol. 25, No 1, 69–72
2. *Макаренко, В.Д.* Расчет кинетических характеристик электродных капель при их переходе через дуговой промежуток в процессе сварки покрытыми электродами/ Макаренко В.Д., Шатило С.П./ Сварочное производство. 1999. №12. С.6 -10.
3. *Новожилов Н.М.* Основы металлургии дуговой сварки в газах. М. – Машиностроение. – 1979. – 231 с.
4. *Лившиц Л.С.* Металловедение для сварщиков (сварка сталей). — М.: Машиностроение, 1979. —253 с.
5. *Ильященко, Д.П.* Санитарно – гигиенические характеристики ручной дуговой сварки покрытыми электродами с применением защитного покрытия [Текст]/ Д.П. Ильященко, С.Б. Сапожков, С.В. Шадский// Безопасность труда в промышленности. № 6. 2009. – С. 30 – 34.

05.23.01

[1]И.С. Инжутов д.т.н., [1]М.С. Барков, [1]П.А. Дмитриев д.т.н., [2]В.И. Жаданов д.т.н.

[1]ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»,
Красноярск, barkovms@gmail.com

[2]Оренбургский государственный университет,
Оренбург

РАСЧЕТ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ДВУСКАТНЫХ КЛЕЕДОЩАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ФЕРМ С УЧЕТОМ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ОСЕВЫХ УСИЛИЙ ЧЕРЕЗ УПОРЫ ПЕРЕМЕННОЙ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ

Обоснована необходимость учета поперечных сил при расчете сжато-изгибаемых элементов в составе конструкций при передаче осевых усилий через упоры переменной изгибной жесткости.

Ключевые слова*: двускатные элементы, упоры переменной жесткости, поперечные силы, принцип суперпозиции, погрешность.*

Сложность конструирования большепролетных ферм обусловлена значительными усилиями в их узлах. От характера распределения напряжений в древесине элементов, наличия концентраторов зависит надежность и долговечность конструкции в целом. И надежность, и долговечность напрямую связаны с умением конструктора учесть особенности НДС конструкции на стадии проектирования, то есть от наличия методики расчета, позволяющей сделать это. Отсутствие последней определило проведение авторами численных исследований в указанном направлении.

Известны работы, посвященные расчету сжато-изгибаемых элементов и их соединений [3, 5]. Например, в публикациях А.Я. Найчука уделено внимание исследованию влияния действия поперечных сил в опорных и коньковых узлах арок с металлическими башмаками. Однако ни в одной работе не изучалось влияние поперечных сил на НДС древесины под упорами переменной изгибной жесткости при передаче осевых усилий с элемента на элемент в составе верхних поясов ферм.

В верхних поясах ферм при межузловой нагрузке действуют поперечные усилия. Для восприятия поперечной силы, передающейся перпендикулярно к волокнам древесины элемента пояса, конструкторы обычно предусматривают в узлах опорные столики. Если передача усилий осуществляется под некоторым углом к волокнам, к действию осевых усилий добавляются поперечные силы. Для учета поперечных сил в расчетах на смятие древесины в торцах двухскатного элемента при передачи усилий под углом 10 градусов на первой итерации используя принцип суперпозиции определили значение результирующего вектора N_p от векторов сил $N_1 = 567{,}9$ кН и $Q_1 = 220$ кН (1) (рис. 1, а), заметим угол между направлениями действия сминающей силы N_1 и волокон древесины равен 0 градусов.

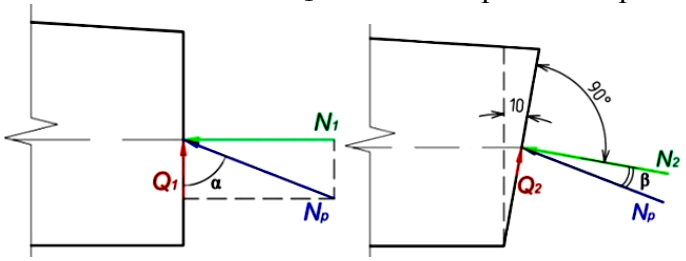


Рис. 1 – Обозначение сил в торце двускатного элемента: а - при передаче осевых усилий под прямым углом относительно волокон, б - под углом 10 градусов относительно волокон

$$N_p = \sqrt{Q_1^2 + N_1^2} = \sqrt{567,9^2 + 220^2} = 609\,\text{кН}. \quad (1)$$

На второй итерации при изменении угла приложения сжимающего усилия N_2 на десять градусов относительно волокон, для определения значения векторов сил N_2 и Q_2 разложили результирующий вектор на составляющие (2, 3).

$$N_2 = N_в \cdot \cos\beta = 609 \cdot \cos 11° = 597,8 \text{ кН}, \quad (2)$$

$$Q_2 = N_в \cdot \sin\beta = 609 \cdot \sin 11° = 116,2 \text{ кН}. \quad (3)$$

С увеличением угла приложения сжимающего усилия на десять градусов и учетом в расчете действия поперечной силы, усилие сжатия N увеличилось на 6 %. Для оценки прочности соединения упора переменной жесткости с торцом двускатного элемента, выполнили проверку на смятие по формуле (4):

$$\sigma_{см} = \frac{N}{A_{см}} \cdot K_{изг.ж.} < R_{смα}, \quad (4)$$

где $\sigma_{см}$ – напряжения смятия; N – расчетное сминающее усилие с учетом действия поперечной силы; $K_{изг.ж.}$ – коэффициент учитывающий влияние переменной жесткости упорного элемента; $R_{смα}$ – расчетное сопротивление древесины смятию под углом к волокнам; $A_{см}$ – площадь смятия под упором.

Исходя из проверки прочности соединения, под упорами, установленными под прямым углом к волокнам, напряжения смятия $\sigma_{смα=0}$ = 11,5 МПа, что меньше расчетного сопротивления смятия древесины первого сорта $R_{см}$ = 14 МПА. Под упорами, установленными под углом десять градусов к волокнам, с учетом поперечной силы $\sigma_{смα=10}$ = 12,1 МПа < $R_{смα}$ = 13,73 МПа. Для установления погрешности расчетов с использованием принципа суперпозиции [1] авторы выполнили численный эксперимент расчета двускатного элемента с установленными по торцам упорами переменной изгибной жесткости в программном комплексе Solid Works.

Нагрузка на двускатный элемент представляла собой равномерно распределенную нагрузку и сжимающие узловые усилия. Расчет двускатного клеедощатого элемента разделили на три стадии. На первой стадии упорные элементы устанавливали под прямым углом относительно основания по центру торцов. На второй стадии для дополнительной оценки влияния эксцентрично приложенных сил упоры смещали ниже центра на расстояние 100 мм. На третьей стадии упорные элементы прикладывали под углом 10 градусов относительно волокон по центру. Геометрические размеры двускатного клеедощатого элемента шириной 180 мм и длиной 12,5 м, были определены аналитическим методом по методике, описанной в учебном пособии [4]. Высота поперечного сечения по торцам составила 798 мм, а в коньке 1188 мм.

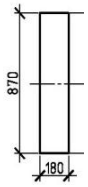
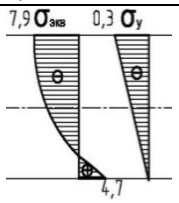
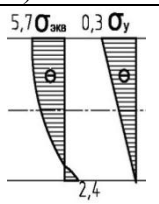
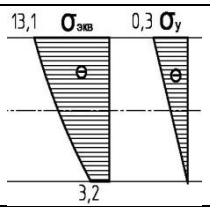
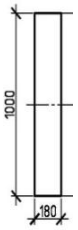
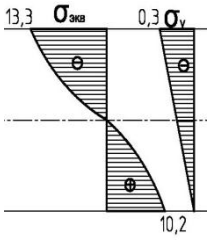
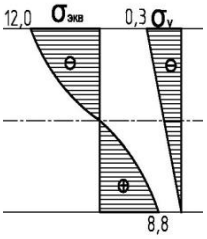
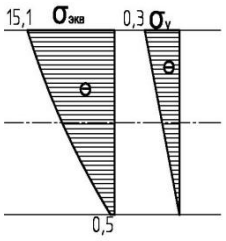
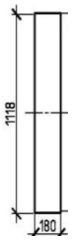
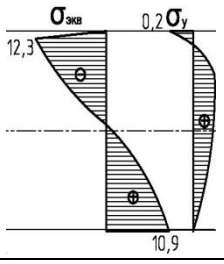
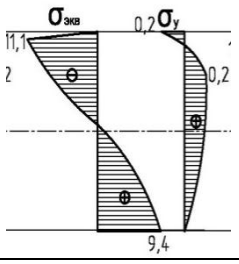
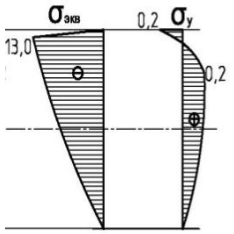
В результате численного эксперимента были построены эпюры напряжений $\sigma_{экв}$ и σ_y для трех вариантов передачи сжимающего усилия через упоры переменной изгибной жесткости для сечений, расположенных на расстоянии от торца: x = l/2, x = l/4, x = l/9 (табл. 1).

Численные расчеты двускатного клеедощатого элемента с установленными по центру торца упорами показали, что максимальные эквивалентные напряжения возникают в сечении, расположенном на расстоянии $x = l/4$ от торца (см. табл. 1, а). Половина сечения до линии эксцентриситета сжата с максимальным значением в верхней кромке $\sigma_{экв}$ = 13,3 МПа, нижняя - растянута, напряжение по нижней кромке $\sigma_{экв}$ = 10,2 МПа. Поперек волокон сжимающие напряжения σ_y уменьшаются от верхней кромки до нижней с σ_y = 0,3 МПа до 0. На расстоянии $x = l/9$ (см. табл. 1, а) от торца, большая часть сечения становится сжатой ($\sigma_{экв}$ = 7,9 МПа). Переход от сжатия к растяжению происходит на расстоянии 60 мм от нижней кромки. Максимальные растягивающие эквивалентные напряжения по нижней кромке $\sigma_{экв}$ = 4,7 МПа. Распределение напряжений σ_y аналогично сечению на расстоянии от торца $x = l/4$. Эквивалентные напряжения сжатия при $x = l/2$ в коньковой зоне снижаются до $\sigma_{экв}$ = 12,3 МПа, а напряжения растяжения увеличиваются до $\sigma_{экв}$ = 10,9. Эпюра σ_y знакопеременная в верхней части сечения σ_y = – 0,2 МПа, в середине сечения σ_y = 0,2 МПа

(см. табл. 1, а). Следует добавить, что на расстоянии от торца $x = l/9$ максимальные касательные напряжения τ_{xy} = 1,35 МПа. Максимальный прогиб двускатного элемента в середине конька по оси *Y* составил 13,42 мм. Эквивалентные напряжений под упорами $\sigma_{экв}$ = 11,6 МПа.

Анализ результатов исследований НДС двухскатного элемента при эксцентричной передаче сжимающего усилия N_1 на торцы (см. табл. 1, б) показывает, что эквивалентные напряжения $\sigma_{экв}$ в сечениях на расстоянии от торца $x = l/2$, $x = l/4$, $x = l/9$ снижаются в среднем на 10 % (табл. 1, б). Эквивалентные напряжения смятия под упорами составляют $\sigma_{экв}$ = 11,7 МПа. Появление эксцентриситета в узлах влияния на напряжения σ_y и τ_{xy} не оказало. За счет увеличения разгружающего момента снизился прогиб балки на 9,6 %. Прогиб по оси Y в коньке составил 12,13 мм (см. рис. 5, д).

Табл. 1. Эпюры напряжений $\sigma_{экв}$ и σ_y в двухскатном элементе

Расстояние от торца	Размеры сечения	а)	б)	в)
$x = l/9$				
$x = l/4$				
$x = l/2$				

При установке упоров под углом 10 градусов к волокнам, в сечение, расположенном на расстоянии $x = l/9$ от торца, эквивалентные сжимающие напряжения изменяются от $\sigma_{экв}$ = 13,1 МПа до $\sigma_{экв}$ = 3,2 МПа. На расстоянии $x = l/4$ напряжения сжатия в верхней части сечения составляют $\sigma_{экв}$ = 15,1 МПа, в нижней $\sigma_{экв}$ = 0,5 МПа. В зоне конька, на расстоянии $x = l/2$, напряжения сжатия – 13,0 МПа, по нижней кромке $\sigma_{экв}$ = 0. Касательные напряжения τ_{xy} = 1,4 МПа. Прогиб конструкции по оси *Y* в сравнении с прогибом определенным на второй стадии расчета увеличился в три раза (38,95 мм). В результате анализа НДС двускатного элемента выявлено, что напряжения растяжения в нижней части балки отсутствуют, в отличие от расчета на первых двух стадиях, вследствие чего увеличились напряжения в верхней части балки до $\sigma_{экв}$ = 15,1 МПа. В торцевой части, под упорами, напряжения возросли до $\sigma_{экв}$ = 16,2 МПа.

Сравнительный анализ результатов расчета двускатного элемента с упорами переменной изгибной жесткости в программном комплексе Solid Works и результатов расчета по формуле (4) показал:

- при установке упора по центру торца, под прямым углом к волокнам, разница в значениях эквивалентных напряжений под упорами составляет 0,8 %;
- при установке упора с эксцентриситетом e = 100 мм, под прямым углом к волокнам, разница в значениях эквивалентных напряжений под упорами составляет 1,7 %;
- при установке упора под углом 10 градусов по отношению к волокнам разница в значениях эквивалентных напряжений под упорами составляет 25,3 %.

В узлах конструкций ферм, при одновременном действии сжимающего осевого усилия N и сдвигающего усилия, причем усилия на торцы сжато-изгибаемых элементов передаются под углом к волокнам, существенно возрастают напряжения смятия $\sigma_{экв}$ под упорами. Таким образом для учета погрешности в вычислениях по формуле (5) можно использовать коэффициент $K_{уч.п.}$ = 1,34.

$$\frac{N}{A_{см}} \cdot K_{изг.ж.} \cdot K_{уч.п.} < R_{смα}, \qquad (5)$$

где $\sigma_{см}$ – напряжения смятия; N – расчетное сминающее усилие с учетом действия поперечной силы; $A_{см}$ – площадь смятия под упором; $K_{изг.ж.}$ – коэффициент учитывающий влияние переменной жесткости упорного элемента; $K_{уч.п.}$ – коэффициент учета погрешности; $R_{смα}$ – расчетное сопротивление древесины смятию под углом к волокнам.

Коэффициент $K_{уч.п.}$ следует принимать при расчетах в первом приближении, так как он нуждается в дополнительных исследованиях.

Выводы. 1.Учет перерезывающих усилий в верхних поясах ферм с использованием принципа суперпозиции при расчете узлов конструкций и подборе упорных элементов дает существенную погрешность в значениях напряжений смятия под упорами переменной изгибной жесткости, достигающую 25 %. Для учета погрешности в вычислениях при первой итерации, можно использовать коэффициент $K_{уч.п.}$= 1,34, однако он нуждается в дополнительных исследованиях.

2. При эксцентричной передаче узлового осевого усилия сжатия на торцы элемента с переменным сечением включенного в состав верхнего пояса фермы (табл. 1, б), можно добиться снижения эквивалентных напряжения $\sigma_{экв}$ в сечениях, расположенных на расстоянии от торца x = l/2, x = l/4, x = l/9 в среднем на 10 %

Список литературы

1. *Александров А.В.* Сопротивление материалов: Учеб. для вузов [Текст] / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин; Под ред. А.В. Александрова. – 3-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2003. – 560 с.: ил.

2. *Клименко В.М.* Предложения по расчету расчету сжато-изгибаемых деревянных элементов [Текст] / В.М. Клименко // Строительная механика и расчет сооружений. № 1, 2011. С. 8-11.

3. *Палкина Л.В.* Исследование напряженно-деформированного состояния сжатоизгибаемых клееных деревянных элементов. Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Москва, 1980. – 184с.

4. *Серов Е.Н.* Проектирование клееных деревянных конструкций Учеб. пособие. Ч. III. Проектирование рам с криволинейными участками и арок [Текст] / Е.Н. Серов, Ю.Д. Санников; Под ред. Е.Н. Серова; СПб гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 1999.- 160 с.

5. *Цепаев В.А.* Расчет сжато-изгибаемых составных элементов дощатых конструкций на податливых связях [Текст] / В.А. Цапаев, М.В. Колобов // Приволжский научный журнал, 2010, № 1. – С. 26-29.

05.13.19

Д.С. Казакова

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий,
механики и оптики, институт комплексного военного образования,
кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,
Санкт-Петербург, kazakovads@gmail.com

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КРЕДИТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ПЕРЕГРУЗОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

В работе освещается проблема операционных рисков связанных с перебоями в работе автоматизированных банковских систем. Данные риски могут быть минимизированы путем проведения мониторинга и моделирования информационной нагрузки, выявление проблемных участков и прогнозирования сбоев в работе систем. Большое внимание уделено разработке методики обнаружения и прогнозирования сбоев, возникших в результате перегрузок в информационных автоматизированных системах кредитной организации, а так же проектированию программного комплекса для повышения их защищенности и эффективности функционирования.

Ключевые слова: *операционный риск, автоматизированная система, сбои, перегрузки, моделирование.*

Современные информационные автоматизированные системы, использующиеся в крупных организациях характеризуются сложной физической и логической топологией и зачастую построены неоптимальным образом. Особое место в данной проблеме занимают кредитные организации, где большинство обрабатываемой информации является конфиденциальной и охраняется законом. Приложения, с которыми работают сотрудники Банков могут генерировать трафик, превышающий пропускную способность внутренних каналов связи. Все это приводит к возникновению перегрузок на участках сети, а следовательно к нарушению нормального функционирования банковских систем, что наносит как финансовые, правовые, репутационные риски организации, что является прямым следствием нарушения безопасности передачи информации и снижения качества услуг в целом.

Разработка механизмов мониторинга и прогнозирования подобных ошибок является актуальной, важной задачей и неотъемлемым элементом комплекса мер по обеспечению безопасной эксплуатации сети любой крупной организации. Мониторинг рисковых событий позволяет отслеживать угрозы, определять время, место и причины возникновения ошибок. Прогнозирование интенсивности трафика в информационных автоматизированных системах дает возможность заранее предпринимать необходимые меры по предупреждению последствий [1].

Целью работы является разработка системы мониторинга, обнаружения и прогнозирования сбоев в каналах связи банковских компьютерных сетей и разработки программного комплекса для повышения их защищенности и эффективности функционирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Анализ существующих методов и базовых средств мониторинга автоматизированных систем кредитной организации и сетей их связывающих;

2. Выбор модели сегмента взаимодействия (элементарного элемента), которая позволяет определять время обработки данных в любом элементе исследуемого участка [5];

3. Разработка метода, позволяющего выявлять загруженность элементов автоматизированной системы;

4. Выбор метода прогнозирования операционных рисков в автоматизированных системах и сетях их связывающих.

Методы исследования данной модели базируются на теории математической статистики, теории вероятности событий, теории вычислительных сетей и систем. Научной базой статистических методов прогнозирования является прикладная статистика и теория принятия решений на основе использования временных рядов [2]. Методы, используемые для прогнозирования зависимостей, исходят из заданной функции, определенной в конечном числе точек на оси времени [3]. Временной ряд при этом часто рассматривается в рамках той или иной вероятностной модели, вводятся другие факторы (независимые переменные), помимо времени, например, объем денежных средств, кредитные параметры. Временной ряд может быть многомерным [4].

Большое внимание уделено реализации подхода к прогнозированию операционных рисков в части перегрузок на основе статистических данных построенных на основе рядов. Объектом наблюдения является информационная автоматизированная система в кредитной организации и ее системные связи. Для мониторинга загрузки каналов используются возможности управляемого сетевого оборудования [6] – сбор информации о входящем и исходящем трафике на каждом из портов коммутаторов. Для получения полной картины функционирования системы этой информации использован подход к мониторингу локальных каналов путем измерения времени повторного оборота пакетов [7].

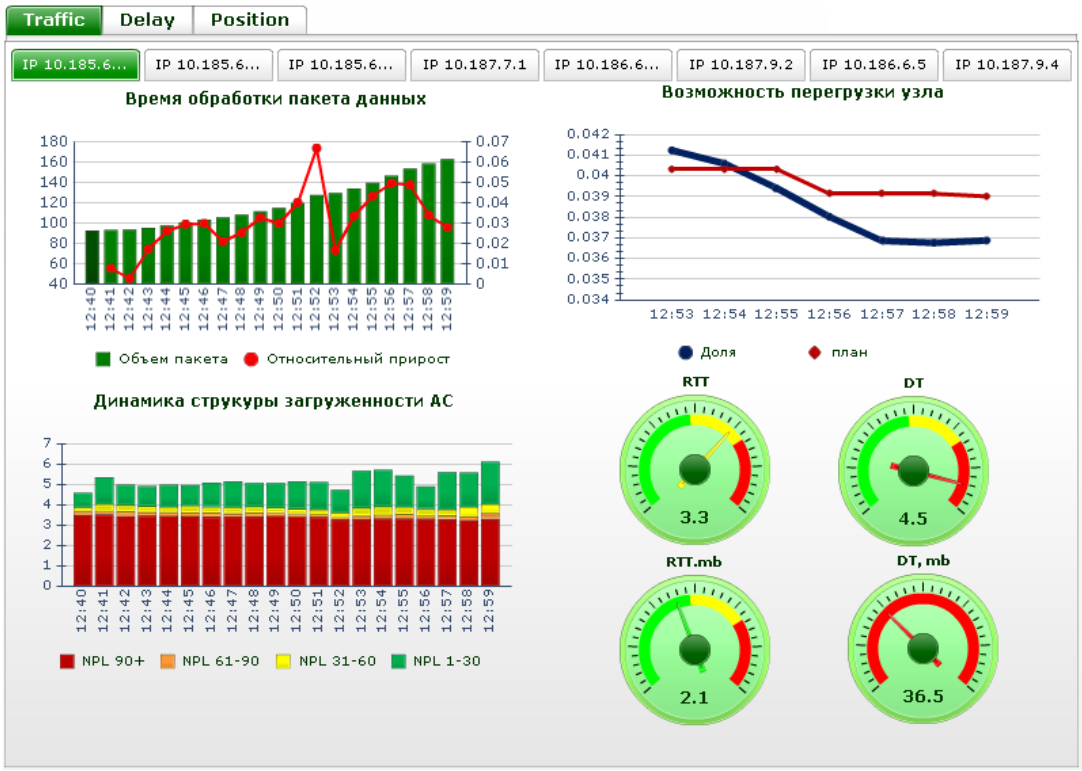


Рис. 1- Окно приложения по мониторингу случаев операционного риска

Как видно на Рисунке 1, разработанная модель позволяет отслеживать трафик, время задержек, местоположение возможной перегрузки. Показанная модель является динамичной, что позволяет проводить оперативный мониторинг банковской сети и выявлять проблемные места в работе автоматизированных систем. Данная модель разработана при помощи программного средства MS Business.Objects.Xcelsius.Engage.2008, что обеспечивает удобные средства визуализации.

По результатам работы были решены проблемы по мониторингу и прогнозированию перегрузок и сбоев в автоматизированных системах кредитной организации и разработке программного комплекса для мониторинга и предупреждения операционных рисков, а так же повышения защищенности и эффективности функционирования систем Банка.

В ходе исследования был проведен анализ существующих методов мониторинга и представлен обзор базовых средств мониторинга автоматизированных систем, разработан программный продукт, позволяющий, проводить мониторинг бесперебойной работы систем и обеспечивающих ее работу сетей, а так же разработан метод обнаружения участков перегрузок в сегменте сети кредитной организации.

Полученные результаты имеют практическую ценности и могут быть внедрены в крупной организации при показании значительного экономического эффекта, который будет возрастать при введении в эксплуатацию дополнительных автоматизированных систем и расширении сети.

Список литературы

1. *Бойченко М. К., Иванов И. П.* Мониторинг ресурсов узлов корпоративной сети // Вестник МГТУ. Приборостроение № 2 – М., 2009. – 114-120 с.
2. *Кендалл М, Стьюарт А.* Многомерный статистический анализ и временные ряды. – М.: Наука, 1976. – 736 с.
3. *Крянев А.В., Лукин Г.В.* Математические методы обработки неопределенных данных. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 216 с.
4. *Петрунин Ю.Ю.* Информационные технологии анализа данных. Data analysis: Учебное пособие. – М.: КДУ, 2008. – 292 с.
5. *Соколов А. С.* Моделирование сегмента вычислительной сети и выявление проблемных участков в процессе мониторинга // Научно-практический журнал «Прикладная информатика» №3 – Москва, 2011, С.–116-120.
6. *Уилсон Э.* Мониторинг и анализ сетей. Метод выявления неисправностей. – М.: Лори, 2002. – 350 с.
7. *Шаньгин В.Ф.* Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: Учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ», 2008. – 416 с.

05.16.02

О.А. Коваленко, В.И. Дождиков д.т.н.

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»,
Металлургический институт, кафедра теплофизики,
Липецк, kolega@inbox.ru

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОГО СЛИТКА НА ОБРАЗОВАНИЕ ТРЕЩИН

Исследовано влияние критических температур превращения в стали и диаметра зерна аустенита на образование поверхностных трещин. Получено выражение для оценки минимального значения относительного сужения в интервале пониженной пластичности.

Ключевые слова: *аустенит, диаметр зерна, поверхностные трещины.*

Поверхностные трещины являются одним из наиболее распространённых дефектов непрерывнолитого слитка. Появление этого вида дефектов многие авторы связывают с пониженными пластическими свойствами стали в интервале температур 700-1000 ºС.

Известно, что на механические свойства поликристаллических металлов и сплавов существенное влияние оказывают протяженность и состояние границ зерен [1]. Отсутствие в литературе общепринятых выражений, описывающих взаимосвязь размера зерна аустенита и пластические свойства металла в этом диапазоне температур, вызвало необходимость обработки экспериментальных данных различных авторов с целью определения вида этой зависимости. В результате было получено выражение для определения минимального значения относительного сужения $\Psi_{\min}$ в рассматриваемом интервале пониженной пластичности в зависимости от размера зерна аустенита:

$$\psi_{min} = 2{,}78 + 0{,}54 \cdot d^{-0{,}5}, \quad (1)$$

где d – диаметр зерна аустенита, м.

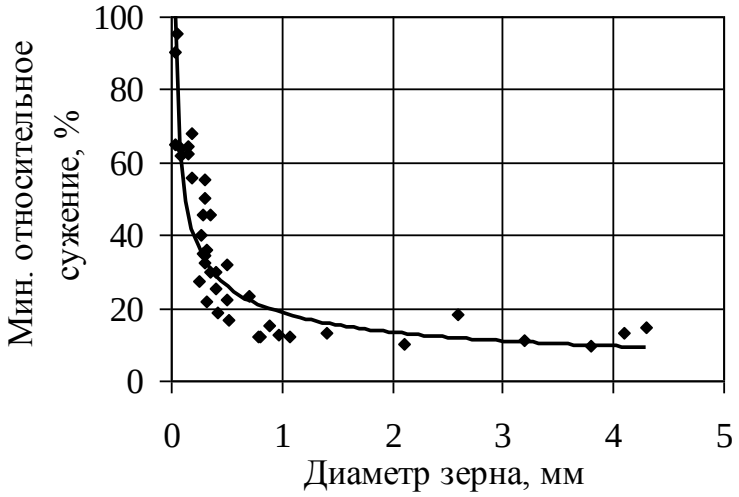


Рис. 1– Зависимость минимального относительно сужения от диаметра зерна аустенита (♦ – данные работ [2,3,4,5,6,7]; линия – формула (1))

Из рисунка видно, что резкое снижение минимального значения относительного сужения происходит при увеличении размера зерна аустенита до примерно 1 мм, а дальнейший рост зерна мало влияет на пластические свойства металла.

В предыдущей нашей работе [8] была предложена аналогичная формула, связывающая пластичность металла и размер аустенитного зерна в виде

$$\psi_{min} = 0{,}673 \cdot d^{-0,5} \quad (2)$$

Однако, это выражение было получено по экспериментальным данным меньшего объема выборки. Следует отметить, что уравнения (1) и (2) по своему виду и физическому смыслу соответствуют известному закону Холла-Петча, устанавливающему зависимость напряжения течения поликристаллов от среднего размера зерна d [9]:

$$\sigma_T = \sigma_i + K \cdot d^{-0,5}, \quad (2)$$

где σ_i – напряжение трения; K – коэффициент зернограничного упрочнения.

Наблюдаемые различия в коэффициентах уравнений (1) и (2) могут быть вызваны различиями репрезентативности выборки экспериментальных данных, а также обусловлены влиянием на них колебаний состава исследуемых сталей.

Кроме того, в рамках поставленной задачи необходимо учитывать и другие аспекты рассматриваемой проблемы, например, влияние химического состава стали на трещиночувствительность. Для этого было проведено исследование влияния температуры окончания формирования дендритной структуры δ-феррита и температуры перехода в аустенитную область на появление трещин в непрерывном слитке. Влияние химических компонентов стали на смещение границ области перитектического превращения двойного сплава Fe-C учитывали, используя данные и методику, изложенные в работе [10] (рис.2).

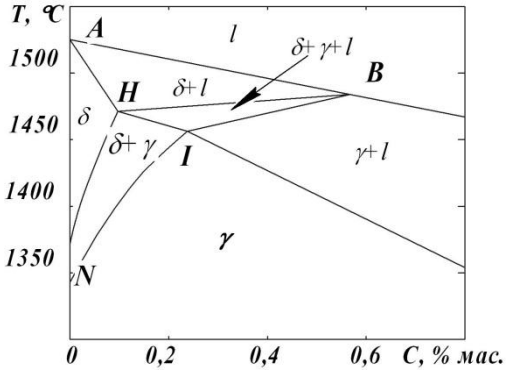


Рис. 2– Температура образования непрерывной твердой фазы в системе Fe-C-Xi (Xi=Si, Mn, S, P),

Температуры, соответствующие линиям AHB и NIE полученной диаграммы состояний, нормировали, учитывая значения экстремумов на этих линиях согласно выражению:

$$T^* = \frac{|\Delta T|}{|\Delta T_{max}|}, \quad (3)$$

где $\Delta T = T_{ext} - T$; T – температура, соответствующая линиям AHB или NIE при текущей концентрации углерода; T_{ext} – точка экстремума на линии; ΔT_{max} – максимальное значение ΔT в серии проведенных вычислений.

Вид полученных функций в сравнении с зависимостью, описывающей пораженность непрерывного слитка продольными трещинами в диапазоне концентраций углерода 0,05 – 0,30 % для стали с содержанием 0,1Si, 1,2Mn, 0,017P, 0,02S [11] представлен на рис.3.

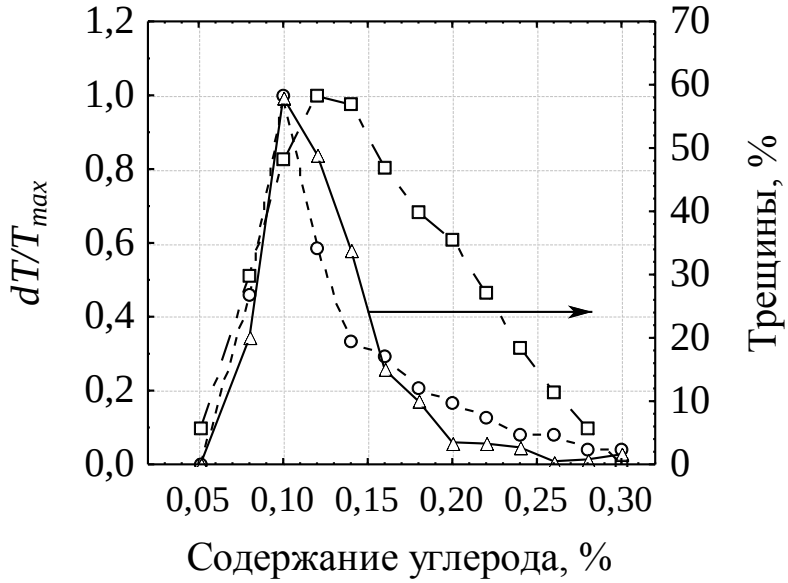


Рис. 3– Процент выхода слябов с поверхностными трещинами в сравнении с нормированной температурой линий диаграммы Fe-C: Δ – количество дефектов [11]; ○ – линия AHB; □ – линия NIE

Анализ полученных результатов говорит о значительной корреляции характера сравниваемых функций, особенно в отношении положения их экстремумов. Таким образом, можно говорить о влиянии температуры окончания формирования дендритов δ-феррита на появление трещин в непрерывнолитом слитке. Такая зависимость связана с особенностями механизма перитектического превращения, риском возрастания усадки и узким интервалом кристаллизации, за счет чего остаточной жидкости в междендритном пространстве становится недостаточно для «залечивания» микроразрывов, пустот и пор [12].

Таким образом, анализ результатов проведенных исследований влияния параметров процесса формирования структуры непрерывного слитка на образование дефектов показывает, что на количество образующихся поверхностных трещин влияют температуры окончания дендритного превращения и перехода в аустенитную область, а также диаметр зерна аустенита. На основе обработки экспериментальных данных различных авторов получено выражение, позволяющее определять минимальное значение относительного сужения в интервале пониженной пластичности в зависимости от размера зерна аустенита.

Список литературы

1. *Журавлев В.А.* Затвердевание и кристаллизация сплавов с гетеропереходами (физические основы, теория, эксперименты, практика). – М.: Ижевск, НИЦ, 2006. – 560с.
2. *Mintz B.* The influence of composition on the hot ductility of steels and to the problem of transverse cracking // ISIJ International. 1999. Vol. 39. No. 9. P. 833-855.
3. *Mintz B., Abushosha R., Cominelli O.G.* The hot tensile test as a means of assessing the susceptibility of steel to cracking during continuous casting // Proceedings of 7th international symposium on physical simulation of casting, hot rolling and welding. – National research institute of Japan. 1997. P. 449-467.
4. *Revaux T., Deprez P., Bricout J.* In situ solidified hot tensile test and hot ductility of some plain carbon steels and microalloyed steels // ISIJ International. 1994. Vol. 34. No. 6. P. 528-535.
5. *Karpenter K.* The influence of microalloying elements on hot ductility of thin slab cast steel. Doctoral dissertation. 2004. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ro.uow.edu.au/theses/161/.
6. *Maehara, Y., Yasumoto K., Sugitani Y.* Effect of carbon on hot ductility of as-cast low alloy steels // Trans. ISIJ. – Vol. 25. – 1985.- P. 1045-1052.
7. *Moon S.* The influence of austenite grain size on hot ductility of steels. Doctoral dissertation / Master's thesis. 2003. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ro.uow.edu.au/theses/166/
8. *Дождиков В.И., Никитушкин С.И.* Моделирование процесса формирования аустенитной структуры для оценки пластичности непрерывнолитых сталей // Деформация и разрушение материалов. 2011. №6. С. 33-36.
9. *Гольдштейн М.И., Литвинов В.С., Бронфин Б.М.* Металлофизика высокопрочных сплавов. М.: Металлургия, 1986. 312 с.
10. *Голод В.М.* Моделирование и компьютерный анализ кристаллизации многокомпонентных сплавов на основе железа / В.М. Голод, К.Д. Савельев, А.С. Басин. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2008. – 372 с.
11. *Kim K., Yeo T., Oh K.H., Lee D.,N.* Effect of carbon and sulfur in continuously cast stand on longitudinal surface crack // ISIJ International. 1996. Vol. 36. No.3. P. 284-289.
12. *Демина Е.Г., Тубольцев Л.Г., Левченко Г.В.* Современные способы повышения качества металлопродукции // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії: Збірник наукових праць. Вип. 18.-Дніпропетровськ. 2008.-с.245-256.

05.02.07

Д.М. Кононов, А.В. Жданов к.т.н., В.В. Морозов д.т.н.

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Владимир

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ PVD-ПОКРЫТИЙ

В статье рассматриваются вопросы получения алмазоподобных PVD-покрытий на основе углерода: a-C, a-C:H и MeN/CNx. Приведены результаты экспериментальных исследований их физико-механических и трибологических свойств и даны рекомендации по использованию в промышленности

Ключевые слова:*PVD-покрытие, алмазоподобное покрытие (АПП), получение покрытие, физико-механические свойства, трибологические свойства.*

Алмазоподобные покрытия (АПП) обладают уникальными свойствами, которые характеризуются низким коэффициентом трения, высокой химической стойкостью и износостойкостью рабочих поверхностей деталей механизмов и машин и инструмента. Кроме высокой твердости (до 100 ГПа), эти покрытия имеют высокую теплопроводность и обладают хорошими электроизоляционными свойствами. Сегодня имеется достаточно широкий набор способов получения АПП, среди которых особый интерес вызывает PVD-методы, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с CVD и лазерными технологиями [1].

Известны три типа АПП. Впервые АПП были получены осаждением из пучков ионов углерода [2]. Покрытия состояли практически полностью из атомов углерода (*a-C* пленки – *1 тип*) с алмазной *sp3*-гибридизацией валентных электронов, но размеры кристаллографически упорядоченных областей не превышали 10 нм. Свойства *a-C* покрытий удалось улучшить, благодаря использованию пучка ионов *Ar* для распыления графитовой мишени (с осаждением атомов *C* на подложку) и с воздействием на покрытие во время роста. АПП, полученные из газообразных углеводородов, активированных с помощью радиочастотной, микроволновой и других видов плазмы, содержат значительное количество водорода (до 50 %) и состоят из нескольких фаз (мелкодисперсных алмазной, графитовой и полимерной). Такие покрытия по ряду свойств близки к алмазу и называются аморфными алмазоподобными гидрогенизированными пленками, или *a-C:H* покрытиями (*2 тип*). Нанокомпозитные АПП системы *MeN/CNx (3 тип)* показывают уникальный комплекс свойств «высокая твердость - низкий коэффициент трения - сверхэластичность». При этом термостойкость покрытий составляет 600…700^{0}C. Это сочетание характеристик делает данные покрытия перспективными для трибологических применений в промышленности. В табл. 1 представлены методы получения АПП.

Таблица 1

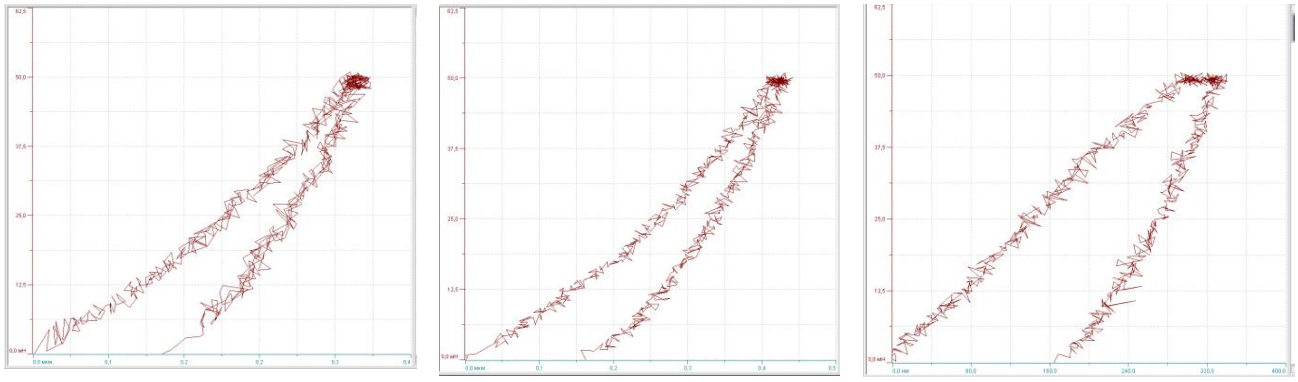
Методы получения АПП

Метод	Температура подложки, ^{0}C	Структура	Микро-твердость, ГПа
Лазерное испарение	300	Аморфная	20…60
Лазерное импульсное испарение	300 – 500	Аморфная с кристаллическими включениями	20…60
Ионно - лучевое испарение	300	Аморфная с кристаллическими включениями	20…60
Тлеющий разряд переменного тока	400	Аморфная	20…60
Электро-дуговое с эродирующим катодом	300	Аморфная с кристаллическими включениями	20…60

В ходе экспериментов были получены все три типа АПП: *Cr/a-C, Ti-C:H* и *CrN/CNx* методом магнетронного распыления (*PVD*) материалов в среде рабочего газа *Ar*, на установке *UNICOAT 600SL+* НПФ «Элан-Практик» (г. Дзержинск). При получении покрытий *Me/CNx* и *Me-C* осуществлялось магнетронное распыление графитовой и металлической мишеней в среде *Ar*; для покрытия *Me/CNx* в камеру дополнительно подавался азот *N*. Для получения покрытий *Me-C:H* выполнялось распыление металлической мишени в среде аргона *Ar* и добавлением в камеру метана CH_4. Все покрытия наносились на диски Ø20х5 мм, выполненные из стали 40Х ГОСТ 4543-71. Экспериментальные исследования проводились на оборудовании *CSM* (Швейцария) методами индентирования, скратч-тестирования и трибоиспытания. Ниже приводятся основные результаты и их сравнение.

Испытания по индентированию проводились на наноиндентометре «CSM Микро скратч-тестер» с применением алмазного индентора Виккерса. Испытания проходили по следующей методике: 1) закрепление образца на приборе; 2) задание основных настроек режима индентирования; 3) проведение индентирования; 4) получение фотографий следа индентирования; 5) анализ результатов. Эксперименты проводились при нагрузке до 50 мН, далее выполнялась выдержка в течение ограниченного периода времени при 50 мН и разгрузка (рис. 1). Для каждого образца выполнялась серия испытаний с целью определения основных физико-механических характеристик: инденторная твердость (*Hit*), твердость по Виккерсу (*HV*), приведенный модуль упругости (*E**), инденторный модуль упругости (*Eit).* Программное обеспечение позволило в автоматическом режиме обрабатывать результаты и строить по методике Оливера-Фарра диаграммы «нагрузка - глубина проникновения». Количественная оценка исследуемых покрытий проводилась на основе этих кривых (рис. 1) и отпечатков индентирования. На рис. 2 представлен пример отпечатка размером 3 х3 мкм, в табл. 2 приведены средние значения физико-механических характеристик для исследуемых образцов.

Испытания по методу скратч-тестирования проводились на наноиндентометре «CSM Микро скратч-тестер» с применением алмазного индентора Роквелла и линейного царапания. По их результатам делается вывод о критической нагрузке, при которой покрытие начинает откалываться от подложки. Испытания проходили по следующей методике: 1) закрепление испытуемого образца на приборе; 2) предварительное сканирование поверхности и определение ее профиля; 3) задание параметров скратч-тестирования в настройках; 4) проведение скратч-теста; 5) построение панорамного снимка следа царапины; 6) анализ результатов.

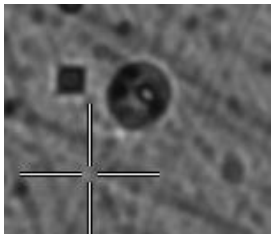


а) Ti-C:H *б) Cr/a-C* *в) CrN/CNx*

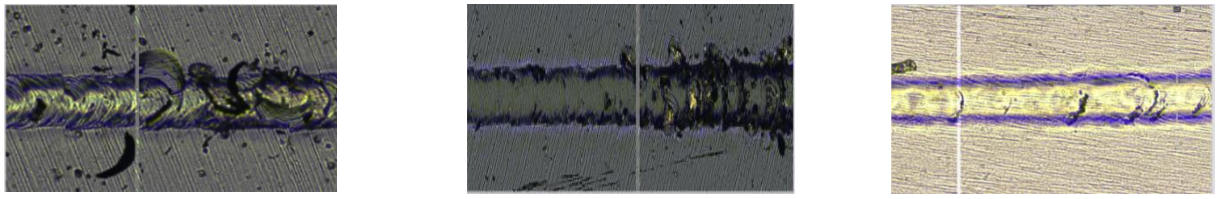
Рис.1 Кривые индентирования АПП при максимальной нагрузке 50мН

Таблица 2

Результаты измерений по индентированию АПП

Покрытие	Физико-механические характеристики				
	Hit, ГПа	*Eit*, ГПа	*E**, ГПа	*HV*	
Cr/a-C	38.94	311.62	343.5	3692.4	 *Рис.2 Отпечаток следа индентирования (x50)*
Ti-C:H	19.12	145.70	160.4	1802.8	
CrN/CNx	31.27	243.04	255.0	2955.4	

Программное обеспечение позволило в автоматическом режиме обрабатывать полученные диаграммы «нагрузка - глубина проникновения - сигнал акустической эмиссии». Параметры скратч-тестирования были одинаковыми для всех образцов: начальная нагрузка 0,1 Н, конечная нагрузка – 15 Н; скорость нагрузки - 8.94 Н/мин; сканирующая нагрузка - 0,03 Н; скорость сканирующей нагрузки - 2 мм/мин; длина измерения - 5 мм; радиус индентора - 100 мкм. На рис. 3 представлены результаты скратч-тестирования. Числовые значения скратч-тестов показаны в табл. 3.



а) *Cr/a-C* б) *Ti-C:H* в) *CrN/CNx*

Рис. 3. Результаты скратч-тестирования

Таблица 3

Результаты скратч-тестирования и трибометрирования АПП

Покрытие	Нагрузка, при которой образуется первый скол, Н	Значение коэффициента трения
Cr/a-C	7,83	0.02
Ti-C:H	8,64	0.06
CrN/CNx	5,85	0.46

Испытания по трибологии проводились по следующей методике: 1) закрепление образца на подвижном столике; 2) наладка подвижной штанги и закрепление на ней вращающегося шарика-индентора; 3) установка параметров испытания (материал, скорость движения образца, усилие прижатия шарика, температура окружающей среды, время испытания и т.д.); 4) проведение испытаний; 5) получение графиков нагрузки, глубины истирания и коэффициента трения; 6) исследование дорожки износа и анализ полученных результатов. Испытания всех трех покрытий проходили при следующих одинаковых параметрах: диаметр дорожки – 11 мм, нагрузка на образец – 10 Н, скорость образца – 20 см/сек, пройденный путь – 300 м, материал контртела – сталь ШХ 15 ГОСТ 801-78, геометрия контртела – шар диаметром 6 мм. Графики изменения коэффициента трения для исследуемых покрытий представлены на рис. 4, средние значения коэффициента трения – в табл. 3.

а) Cr/a-C *б) Ti-C:H* *в) CrN/CNx*

Рис.4. Графики изменения коэффициента трения АПП, полученные в результате трибологических испытаний

Анализ экспериментальных результатов показывает, что твердость исследуемых АПП, составляет от 1802 до 3692 *HV*, и не уступает известным покрытиям. Максимальные значения твердости показали покрытия на основе *Me-C* и *Me/CNx*. Для всех покрытий выявлена хорошая адгезия. Наилучшая адгезия наблюдается у покрытий на основе *C:H*. Проведенные трибологические испытания обнаружили низкие значения коэффициента трения для покрытий на основе *Me-C:H* и *Me-C*. Так для покрытий *Me-C* коэффициент трения – *0,02*, а для *Me-C:H – 0,06 (*для сравнения *TiN, TiAlN* - на порядок больше*).*

Список литературы

1. *Tsai P.-C.* Evaluation of microstructures and mechanical properties of diamond like carbon films deposited by filtered cathodic arc plasma / P.-C. Tsai, K.-H. Chen // Thin Solid Films. - Vol. 516. - No. 16. - 2008. - p. 5440- 5444.

2. *Трахтенберг И.Ш.* Аттестация механических свойств твердых алмазоподобных покрытий (АПП) / И.Ш. Трахтенберг, А.Б. Владимиров, В.А. Югов, А.П. Рубштейн, В.В. Кондратьев, А.В. Гапонцев, А.Г. Гонтарь, С.Н. Дуб // Физика металлов и металловедение. - Т. 99. - № 6. - 2005. - с. 103-107.

3. Экспериментальные исследования физико-механических свойств многослойных наноструктурных покрытий/ Букарев И.М., Жданов А.В.// Научно-технический вестник Поволжья. 2011. №6. С. 116-118. ISSN 2079-5920.

4. Изучение свойств наноструктурированных PVD-покрытий на основе С / Кононов Д.М., Жданов А.В., Королев А.Н. // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6, стр. 130; URL: http://www.science-education.ru/100-5252 ISSN 1817-6321

05.13.18

Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова д.т.н., О.А. Петрова

Сибирский государственный индустриальный университет,
Кафедра прикладной информатики,
Кафедра разработки пластовых месторождений,
г. Новокузнецк, ekornev@yandex.ru

МЕТОД ГЛОБАЛЬНОЙ НУМЕРАЦИИ УЗЛОВ ТРЁХМЕРНОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНИКИ

В работе представлены результаты поиска оптимального направления глобальной нумерации узлов конечных элементов трёхмерной конечно-элементной модели массива горных пород. Выявлено влияние направления глобальной нумерации узлов на размер оперативной памяти, требуемой для решения трехмерной задачи методом конечных элементов. Предложен метод глобальной нумерации узлов конечных элементов трёхмерной дискретной модели массива горных пород.

Ключевые слова: *массив горных пород, трехмерная задача, метод конечных элементов, дискретная модель, нумерация узлов, оперативная память.*

Одной из характерных особенностей современного горного производства является интенсификация технологических процессов, что приводит к необходимости прогнозирования геомеханической ситуации.

Для моделирования геомеханических процессов в неоднородном массиве горных пород наиболее эффективным методом численного решения системы дифференциальных уравнений является метод конечных элементов, который позволяет учитывать внешние воздействия, геометрические размеры, структуру массива горных пород, механические свойства породных слоев, положение горнотехнических объектов. Учитывая, что размеры геомеханической модели углепородного массива могут достигать нескольких километров, а положение горных выработок изменяется во времени и в пространстве, то для конечно-элементного решения трехмерных задач геомеханики требуются большие ресурсы вычислительной системы. Так при дискретизации области исследования на 20 конечных элементов в одномерном случае требуется 20 степеней свободы, в двумерном (20×20 элементов) – 800, а в трехмерном (20×20×20 элементов) – 24000, что приводит к большому числу уравнений в системе, решение которых требует значительного объема оперативной памяти и процессорного времени.

Кроме того, использование метода конечных элементов приводит к системе уравнений с сильно разреженной матрицей, значительное число коэффициентов которой равно нулю. Все ненулевые и некоторые нулевые коэффициенты матрицы находятся вблизи главной диагонали, а все коэффициенты за пределами полосы, ограниченной диагоналями, параллельными главной диагонали, равны нулю (рис. 1).

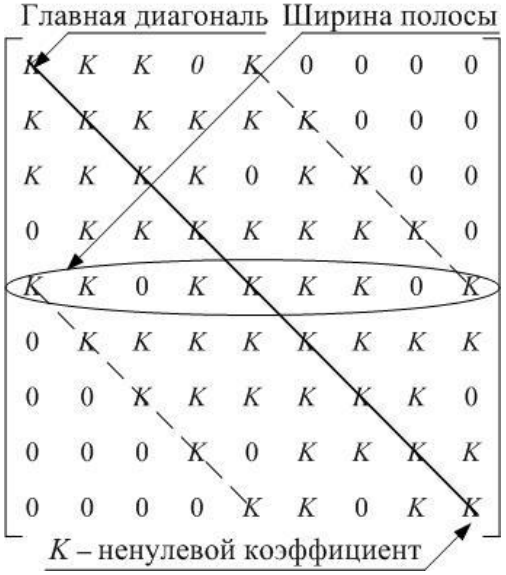


Рис. 1– Ширина полосы матрицы коэффициентов системы линейных алгебраических уравнений

Расстояние между диагоналями определяет ширину полосы матрицы (B), которая вычисляется по формуле:

$$B = \left(R_{\max} + 1\right) Q, \tag{1}$$

где $R_{\max}$ – наибольшая величина максимальной разности между номерами узлов в отдельном конечном элементе, Q – число степеней свободы в каждом узле.

Выбор оптимального направления глобальной нумерации узлов конечно-элементной сетки существенно влияет на структуру матрицы и приводит к уменьшению ширины полосы, в которой располагаются ненулевые коэффициенты, что позволяет сократить время вычислений и объем используемой оперативной памяти компьютера.

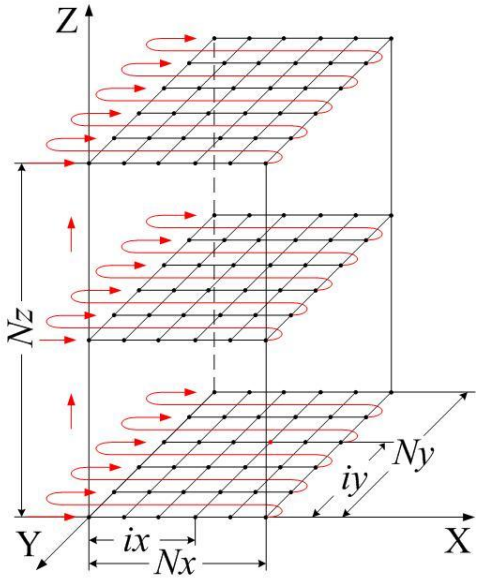
При глобальной нумерации узлов конечно-элементной сетки трёхмерной дискретной модели возможны варианты обхода призматических элементов в любом направлении координатных осей, но для оптимального по объему оперативной памяти решения необходим поиск такого направления, которое позволит получить матрицу коэффициентов с минимальной шириной полосы. Возможные варианты направлений обхода и глобальной нумерации узлов призматических элементов приведены на рисунке 2.

В таблице 1 представлены результаты вычисления ширины полосы матрицы при глобальной нумерации узлов трёхмерной дискретной модели, с использованием различных направлений обхода призматических элементов по координатным осям.

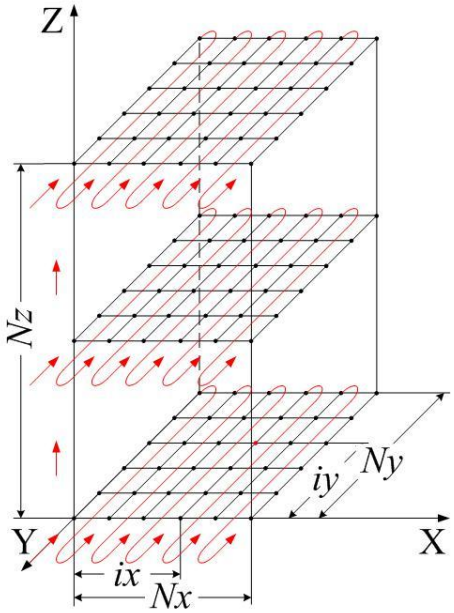
Следует отметить, что при одинаковом количестве узловых точек по координатным осям различные варианты направлений обхода и глобальной нумерации узлов призматических элементов не оказывают влияния на ширину полосы матрицы, поэтому глобальную нумерацию узлов можно осуществлять по любому из направлений.

В случае разного количества узловых точек по координатным осям (таблица 1) ширина полосы матрицы существенно зависит от направления обхода призматических элементов при глобальной нумерации узлов.

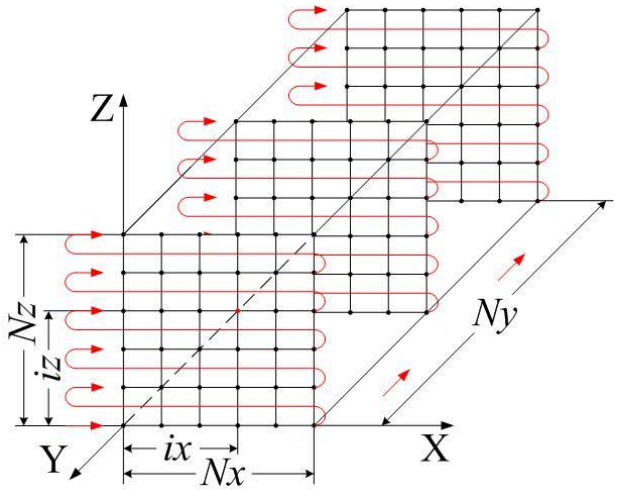
а - направление обхода X-Y-Z



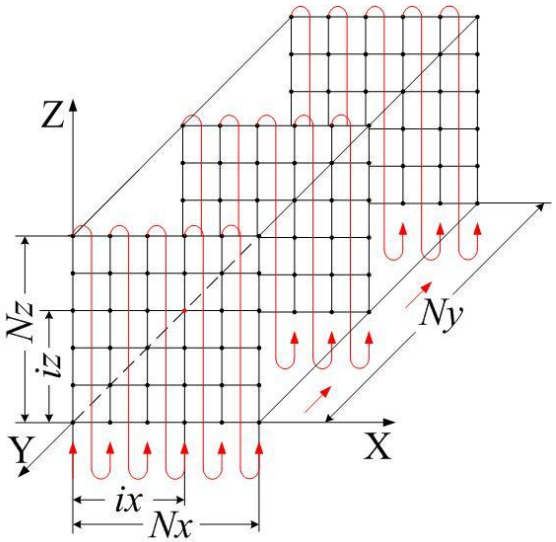
б - направление обхода Y-X-Z



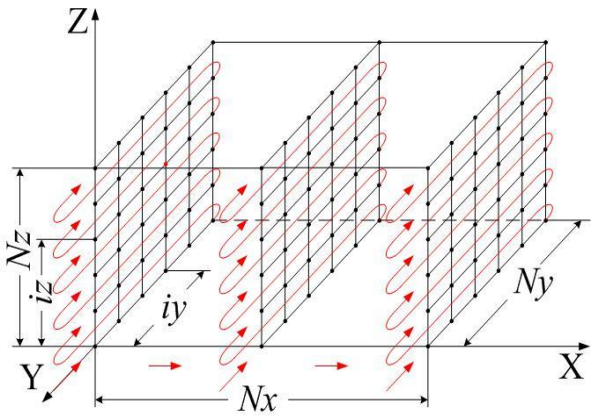
в - направление обхода X-Z-Y



г - направление обхода Z-X-Y



д - направление обхода Y-Z-X



е - направление обхода Z-Y-X

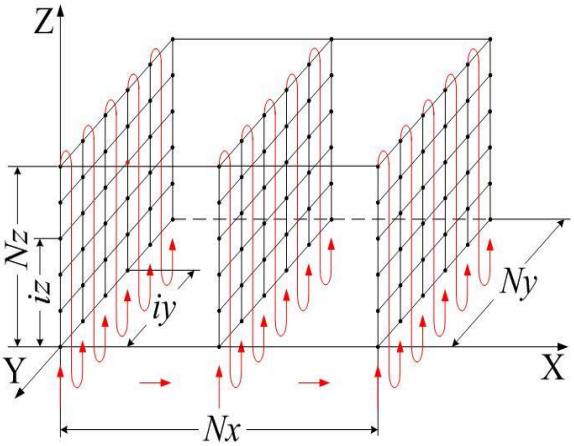


Рис. 2– Возможные варианты глобальной нумерации узлов призматических элементов дискретизируемой области исследования

Таблица 1– Альтернативные варианты направлений обхода элементов

Направление обхода элементов	Формула определения номера узла элемента	Количество узловых точек по осям (X-Y-Z)	Максимальная разность, R_{max}	Ширина полосы матрицы	Объем ОЗУ, Мб
X-Y-Z	$Nu = (N_x \cdot N_y)\cdot(i_z - 1) + (i_y - 1)\cdot N_x + i_x$	**6x11x16**	**72**	**219**	**1.99**
Y-X-Z	$Nu = (N_y \cdot N_x)\cdot(i_z - 1) + (i_x - 1)\cdot N_y + i_y$	6x11x16	77	234	2.12
X-Z-Y	$Nu = (N_x \cdot N_z)\cdot(i_y - 1) + (i_z - 1)\cdot N_x + i_x$	6x11x16	102	309	2.80
Z-X-Y	$Nu = (N_x \cdot N_z)\cdot(i_y - 1) + (i_x - 1)\cdot N_z + i_z$	6x11x16	112	339	3.07
Y-Z-X	$Nu = (N_y \cdot N_z)\cdot(i_x - 1) + (i_z - 1)\cdot N_y + i_y$	6x11x16	187	564	5.11
Z-Y-X	$Nu = (N_y \cdot N_z)\cdot(i_x - 1) + (i_y - 1)\cdot N_z + i_z$	6x11x16	192	579	5.25

Для получения минимальной ширины полосы матрицы необходимо производить нумерацию узлов в порядке возрастания количества узловых точек по координатным осям. Выбор оптимального направления нумерации узлов трёхмерных призматических элементов позволяет уменьшить ширину полосы матрицы коэффициентов системы линейных алгебраических уравнений и объем используемой оперативной памяти компьютера в 2.6 раза (таблица 1).

В таблице 2 приведен требуемый объем памяти для разного количества узловых точек при оптимальном направлении обхода призматических элементов по координатным осям трёхмерной дискретной модели.

Таблица 2– Объем оперативной памяти, требуемый при минимальной ширине полосы матрицы

Количество узловых точек по координатным осям (X-Y-Z)	Количество узлов	Максимальная разность, R_{max}	Минимальная ширина полосы матрицы	Объем ОЗУ, Мб
6x11x16	1056	72	219	1.99
9x17x24	3672	162	489	15.44
12x22x32	8448	276	831	60.33
15x28x40	16800	435	1308	188.90
18x34x48	29376	630	1893	477.55
21x40x56	47040	861	2586	1044.90
24x44x64	67584	1080	3243	1881.77

График зависимости объема оперативной памяти компьютера от ширины полосы матрицы приведен на рисунке 3. Из графика следует, что увеличение количества узловых точек по координатным осям трёхмерной модели приводит к существенному увеличению ширины полосы матрицы коэффициентов системы линейных алгебраических уравнений и значительному росту по степенной зависимости требуемого объема оперативной памяти компьютера.

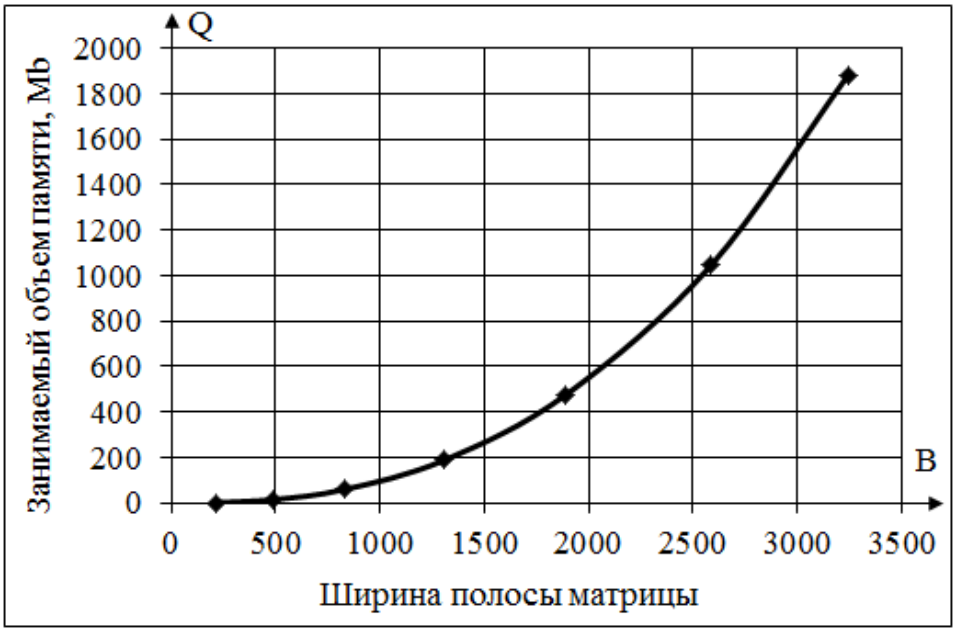


Рис. 3– График изменения объема оперативной памяти компьютера

Выбор оптимального направления глобальной нумерации узлов трёхмерной дискретной геомеханической модели массива горных пород реализован авторами в комплексе проблемно-ориентированных программ (MGP program complex), который основан на использовании метода конечных элементов и предназначен для моделирования геомеханических процессов в горном массиве при подземной разработке угольных пластов.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.132.21.1372

05.13.01

Л.А. Корякин, С.Н. Падалко д.т.н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)» МАИ,
Аэрокосмический факультет, кафедра «Прикладной информатики»,
Москва, l.a.koryakin@gmail.com, snp@inmas.ru

МОДЕЛЬ СЕГМЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСНОВНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрена распределенная система управления производством, выделены и рассмотрены основные процессы, характерные для такого рода систем, включая автономную выработку управленческих решений в структурных подразделениях предприятия, а также согласования этих решений по вертикальным и горизонтальным связям.

Ключевые слова: *модель предприятия, управление, сегментирование, автономное управление сегментами, согласование решений сегментов.*

Структурная декомпозиция предприятий, изготавливающих аэрокосмическую технику, (далее Предприятий) на специализированные по видам деятельности подразделения является исторически сложившимся приемом обеспечения их целенаправленной деятельности в объективных условиях чрезвычайно большой размерности задачи управления Предприятием в целом, а также компетентностной и информационной ограниченности человека.

В работе используется ресурсная модель Предприятия [1]. Соответственно, каждая структурная единица декомпозиции (как и Предприятие в целом) определяется как совокупность переданных в её распоряжение ресурсов и её система управления этими ресурсами.

Общеприняты и далее используются две схемы декомпозиции Предприятия: по вертикали и по горизонтали. Такое представление сводит управления Предприятием в целом к процедурам 3-х видов:

- автономное решение задач управления в выделенных структурных единицах;
- вертикальное согласование автономно вырабатываемых управленческих решений;
- горизонтальное согласование автономно вырабатываемых управленческих решений.

Далее используется вариант декомпозиции Предприятия, предложенный в рекомендациях [2,3], в основе которых лежит 3-х уровневое членение Предприятия. На первом уровне членения выделяются структурные единицы, называемые доменами, на втором каждый домен представляется совокупностью сегментов, на третьем сегменты рассматриваются как набор рабочих мест.

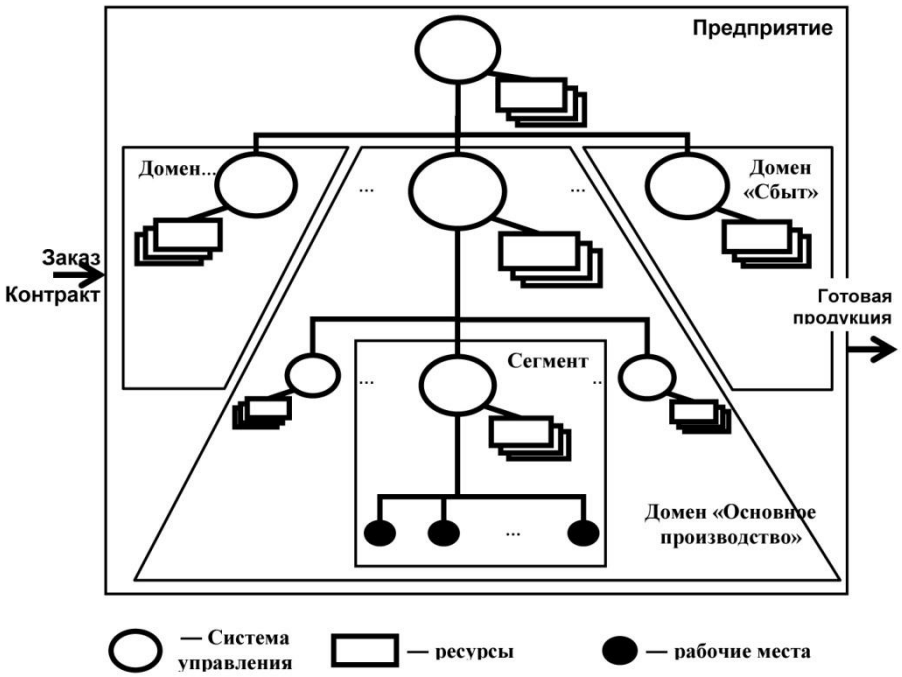


Рис. 1 Структура Предприятия и его домена «Основное производство»

Домен представляет собой структурную единицу, осуществляющую определенный вид деятельности - производит свою, отличную от других доменов продукцию. В составе доменов выделяется корневой домен «Основное производство» (ДОП), результатом деятельности которого является продукция, заказанная Предприятию, остальные домены обеспечивают его ресурсами. К их числу относятся следующие домены: материально-технического обеспечения; технического обслуживания и ремонта (ТОиР) средств технологического оснащения; работы с персоналом; инженерно-технический.

Членение ДОП на сегменты производится, исходя, в первую очередь, из следующих двух принципов:

- Результатом деятельности сегмента являются изготовленные детали и/или сборочные единицы (ДСЕ) из закрепленной за ним номенклатуры. Данный принцип следует из необходимости персонификации ответственности за качество изготавливаемой сегментом продукции;
- В рамках сегмента группируется максимально взаимозаменяемое оборудование, которое, как правило, универсализировано за счет возможностей его переналадки/конфигурирования с использованием различного рода приспособлений/оснастки. Данный принцип обеспечивает наиболее эффективное использование оборудования, а также минимизацию потерь связанных с нештатными ситуациями.

Для выполнения работ по изготовлению закрепленной продукции в сегменте определены рабочие места – в общем случае географические точки выполнения работ.

Учитывая сказанное, состав процессов управления ДОП как совокупностью сегментов включает:

- автономное решение задач управления доменом как совокупностью сегментов;
- автономное решение задач управления каждым сегментом в составе ДОП;
- горизонтальное согласование управлений ДОП с управлениями других доменов Предприятия;
- горизонтальное согласование управлений сегментами ДОП;
- вертикальное согласование управлений ДОП и управлений входящих в его состав сегментов.

Конечной целью ДОП в целом является, пополнение запасов готовой конечной продукции на складах в соответствии с планом, заданным этому домену Производственной программой Предприятия. Достижение этой цели обеспечивается, в конечном счете, деятельностью на рабочих местах, где непосредственно изготавливаются ДСЕ и конечная продукция в их числе. Задачей представленной иерархии управлений при этом является построение системы сменных заданий на все рабочие места сегментов ДОП, обеспеченных всеми необходимыми для их выполнения ресурсами.

Особенностью рассматриваемой модели является сегментированное управление, включающее в себя автономное решение задач управления и согласования получаемых при этом результатов. Задачи управления автономными производственными единицами являются достаточно хорошо изученными [4] и далее не рассматриваются. Поэтому далее рассматриваются только названные выше задачи согласования решений.

Горизонтальное согласование управлений ДОП с управлениями других доменов Предприятия далее трактуется как обеспечение ДОП ресурсами этих доменов и сводится к взаимному обмену информацией в процессе поиска компромисса. Ниже приводятся схемы поиска такого компромисса при согласовании планов ДОП с планами домена «Материально-технического обеспечения» (ДМТО) и домена «Техническое обслуживание и ремонт средств технологического оснащения» (ДТОиР) с использованием расчетных моделей MRPII.

На рис. 2 представлена схема взаимодействия ДОП с ДМТО. При этом модель MRPII пересчитывает сроки поставок, предлагаемые ДМТО, в сроки возможного начала производства и наоборот, т.е. данная модель выступает в роли двустороннего транслятора.

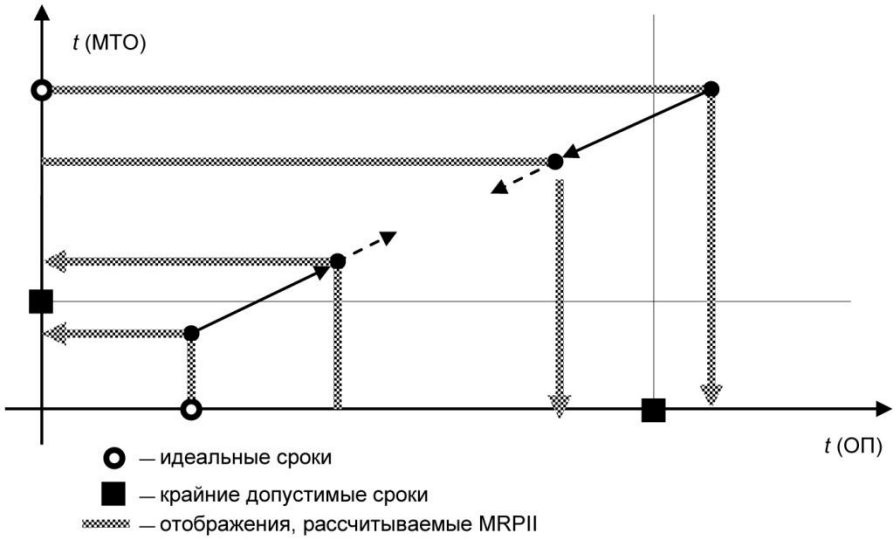


Рис. 2. Схема процедуры согласования планов ДОП и ДМТО.

Аналогичная процедура горизонтального согласования определяет способ согласования планов ДОП и ДТОиР. В отличие от закупаемых материалов ресурсы СТО, как правило, являются возобновляемыми, что определяет необходимость их технического обслуживания и ремонта (ТОиР) с выводом на период выполнения соответствующих работ из эксплуатации. Правила, связывающие планы производства и ТОиР определяются следующим.

Крайние сроки вывода ресурсов СТО на плановые работы ТОиР и длительности выполнения этих работ определяются эксплуатационной документацией. В ней указаны либо календарные периоды, либо суммарное время рабочего использования (наработка), по достижению которых ресурс пройти процедуру ТОиР. В этой же документации определены и длительности выполнения соответствующих работ. Если сроки вывода ресурсов СТО определяются по наработке, то они вычисляются на основе данных календарного планирования работ по изготовлению ДСЕ, в частности, для каждой компоненты СТО по

работам, использующим эту компоненту. Таким образом определяется влияние календарного плана производства на планы работ ТОиР, вернее, на крайние даты выполнения этих работ.

Влияние планов ТОиР на планы производства выше уже были определены, а именно: вывод оборудования из эксплуатации на определенный период смещает работы, которые требуют использования этого оборудования «вправо» (вперед). Если это недопустимо, то планы ТОиР должны быть смещены влево (назад) с соответствующим изменением заказов, попадающих на новый период выполнения работ ТОиР.

Схематично процедура согласования с использованием рассмотренных правил, связывающих планы производства с планами ТОиР показана на рис.3.

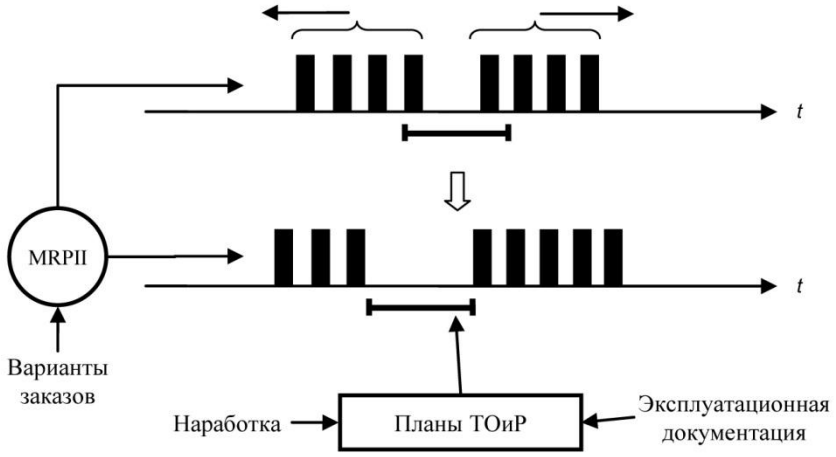


Рис.3 Схема согласования планов ТОиР и планов производства

Горизонтальное согласование управлений сегментами трактуется как обеспечение сегментов продукцией других сегментов собственного изготовления. Основным условием, связывающим управления сегментами, является следующее: к моменту изготовления каждой из ДСЕ необходимо, чтобы запас ДСЕ, входящих в её спецификацию, был не меньше, чем требуется по этой спецификации. Данное условия может быть выполнено различными способами планирования материалов, классификация которых приведена на рис. 4 [5].

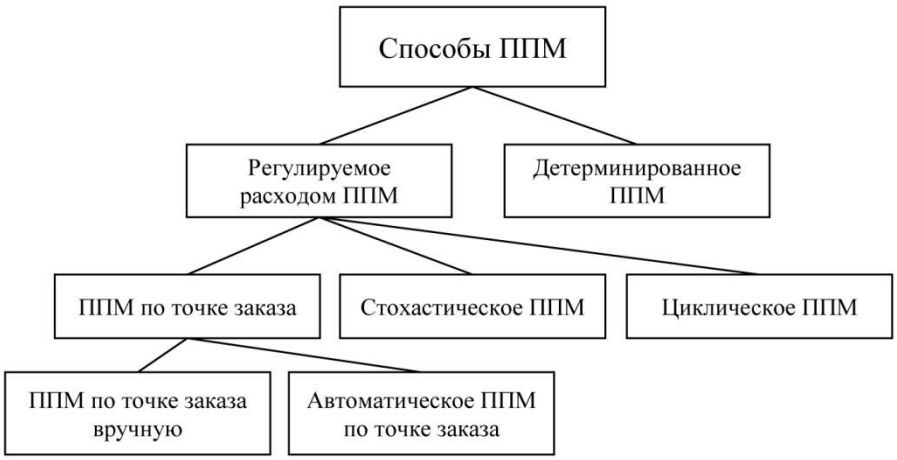


Рис. 4. Классификация способов планирования материалов.

Вертикальное согласование управлений ДОП и управлений входящих в его состав сегментов

Согласно изложенному выше, конечной целью планирования является определение времени выполнения каждого передела изготовления каждой ДСЕ и всех работ, связанных с обеспечением их ресурсами. Решения принимаются последовательно, каждое из предшествующих решений ограничивает допустимые варианты решений следующих уровней.

Выше были определены три уровня решений:

- определяющие даты изготовления каждого экземпляра конечной продукции;
- определяющие даты изготовления ДСЕ;
- определяющие времена выполнения переделов изготовления ДСЕ.

На каждом из этих уровней используются модели различной степени точности. В частности, решения нижнего уровня определяются с использованием наиболее точной модели, учитывающей детально времена подготовительного, технологического и заключительного циклов выполнения работ. Решения более верхних уровней определяются на более грубых моделях.

Основным приемом огрубления является вводимая в рассмотрение величина «мощность» того или иного вида возобновляемого ресурса (как правило, взаимозаменяемого технологического оборудования и персонала). Вторым приемом огрубления является увеличение дискретизации времени планирования. Фактор «огрубления» модели компенсируют введением в модель статистических коэффициентов. Например, располагаемая мощность сегментов и ДОП в целом определяется как суммарное рабочее время в период планирования, умноженное на коэффициент со значением меньше единицы. Данный коэффициент учитывает наличие фактов простоев оборудования как объективных (например, время переналадки оборудования, технического обслуживания и др.), так и вызванных другими причинами. Значения этих коэффициентов определяются для каждого вида ресурсов и могут иметь значительный разброс, увеличивающийся при переходе на более высокие уровни планирования и увеличении дискретизации времени планирования.

По мере приближения планируемых работ к времени их выполнения, т.е. получения результатов их более точного планирования, значения коэффициентов в моделях, используемых при планировании на более высоких уровнях, могут быть скорректированы. При существенной коррекции планы, сформированные на более высоких уровнях принятия решений, должны быть пересмотрены и приведены в соответствие с текущим ходом производства. Тем самым обеспечивается согласование управленческих решений по всем уровням планирования.

В качестве метода коррекции коэффициентов моделей, обеспечивающего эффективную сходимость процесса вертикального согласования решений в иерархических системах планирования, может быть использован алгоритм [6], основанный на использовании констант Липшица, где в роли данных констант, как правило, могут выступать сами корректируемые коэффициенты.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 14258-2008, Промышленные автоматизированные системы. Концепции и правила для моделей предприятия, М.: Стандартинформ, 2009

2. ISO 15704:2000 Industrial automation systems -- Requirements for enterprise-reference architectures and methodologies, ISO, 2000

3. ISO/IEC 62264-1 Ed. 1.0 b:2003, Enterprise-control system integration - Part 1: Models and terminology ISO, 2003

4. *Клаус-Герольд Грундиг,* Проектирование промышленных предприятий. Принципы. Методы, Практика, М: Альпина Бизнес Букс, 2007

5. *Д.А. Гаврилов*, Управление производством на базе стандарта MRP II, Издательский дом «Питер», 2005

6. *Смирнов О.Л., Падалко С.Н. Пиявский С.А.,* САПР: формирование и функционирование проектных модулей, М.: Машиностроение, 1987

05.23.21

Д.И. Ластина

Московский Государственный Строительный Университет,
Институт Строительства и Архитектуры,
Кафедра Архитектуры гражданских и промышленных зданий

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ В КАНАДЕ

В статье анализируются принципы и опыт проектирования энергоэффективных зданий в Канаде. Рассматриваются вопросы и проблемы экологического проектирования и их влияние на современную архитектуру Канады.

Ключевые слова: *Канада, пассивный дом, энергоэффективность, атриум, эко-архитектура, устойчивое здание.*

Проектирование экологически устойчивых зданий, «зеленое» эко-проектирование (Green Architecture) [1] и технологические инновации в данной области - одно из самых популярных и развиваемых направлений в современной архитектуре во всех наиболее развитых странах. Канада – занимает одно из первых мест среди них. Так как практически половина потребления всей получаемой от глобальных энергоресурсов энергии приходится на жилые дома и сооружения, то одним из самых очевидных методов ресурсосбережения становится строительство энергоэффективных и пассивных зданий [2]. В Канаде строительство таких зданий всячески поддерживается на уровне правительства: для эко-проектирования предусмотрены льготые условия и финансовые стимулы в законодательстве.

Существенным отличием в порядке проектирования энергоэффективных зданий от нашей страны является тот факт, что на территории Канады и США действует специальная рейтинговая система сертификации: The Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) [3] – в переводе «Лидерство в энергетическом и экологическом проектировании». Система LEED была разработана в 1998 году United States Green Building Council (USGBC) как стандарт измерения проектов энергоэффективных, экологически чистых и устойчивых зданий для осуществления перехода строительной индустрии к проектированию, строительству и эксплуатации таких зданий. Важно отметить, что LEED не заменяет собой требования нормативных документов, установленных в той или иной стране государственными ведомствами, она только дополняет более совершенными, отвечающими запросам современности, критериями оценки качества. Новый подход помогает решить такие задачи, как снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов зданием, снижение неблагоприятного воздействия на природные эко-системы, обеспечение гарантированного уровня комфорта среды обитания человека, создание новых энергоэффективных и энергосберегающих продуктов, новых рабочих мест в производственном и эксплуатационном секторах, формирование общественной потребности в новых знаниях и технологиях в области возобновляемой энергетики, формирование у проектировщиков ответственность за эффективность решений и будущие функции систем.

Канадский опыт строительства суперизолированных домов с малым потреблением энергии на отопление предусматривает различные конструктивные меры по сокращению теплопотерь, основными из которых являются: суперизоляция наружных стен и перекрытий, обеспечение паро- и воздухонепроницаемости ограждений полиэтиленовой пленкой, применение теплообменников для нагрева поступающего свежего воздуха теплом удаляемого воздуха, использование энергии, выделяемой различными источниками домового тепла, применение Стен Тромба [6], пассивное использование солнечной энергии [4]. Значительный интерес представляют дома, построенные для индийской общины в

провинции Квебек. Проекты предусматривают использование альтернативных источников энергии (солнечной и ветровой) [5], местных строительных материалов, местной рабочей силы и отходов в виде пластмассовой тары из-под напитков и других жидкостей. Все здания оборудованы системой воздушного отопления с использованием солнечной энергии. Для снижения теплопотерь северные стены всех домов имеют меньшую высоту, а для теплоизоляции стен дополнительно использован мох. Один из типовых домов оборудован абсорбером-аккумулятором солнечного тепла в виде массивной теплоемкой стены Тромба из бетонных блоков, которая снаружи ограждена двумя слоями прозрачного стеклопластика и шторой, закрывающейся на ночь (рис. 1).

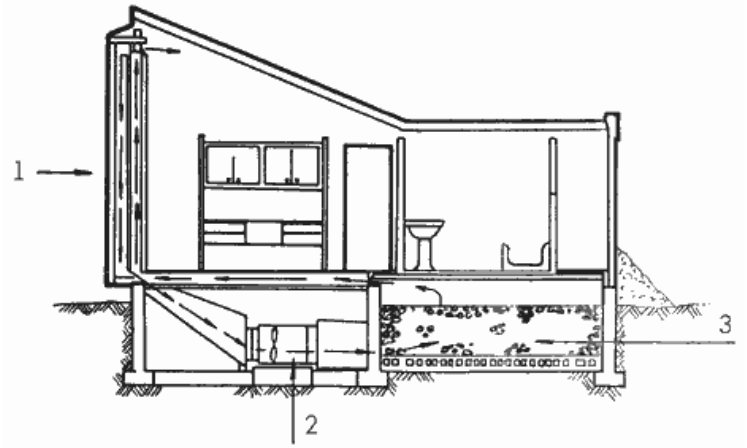


Рис. 1. Поперечный разрез дома с солнечным воздушным отоплением: 1 - коллектор; 2 - вентилятор, 3 - гравийный тепловой аккумулятор.

Наряду с жилыми энергоэффективными домами, в Канаде особый интерес представляют общественные энергоэффективные здания. Одним из ярких примеров такой архитектуры является новый корпус Университета в Виндзоре (University of Windsor), штат Онтарио (Рис.2).

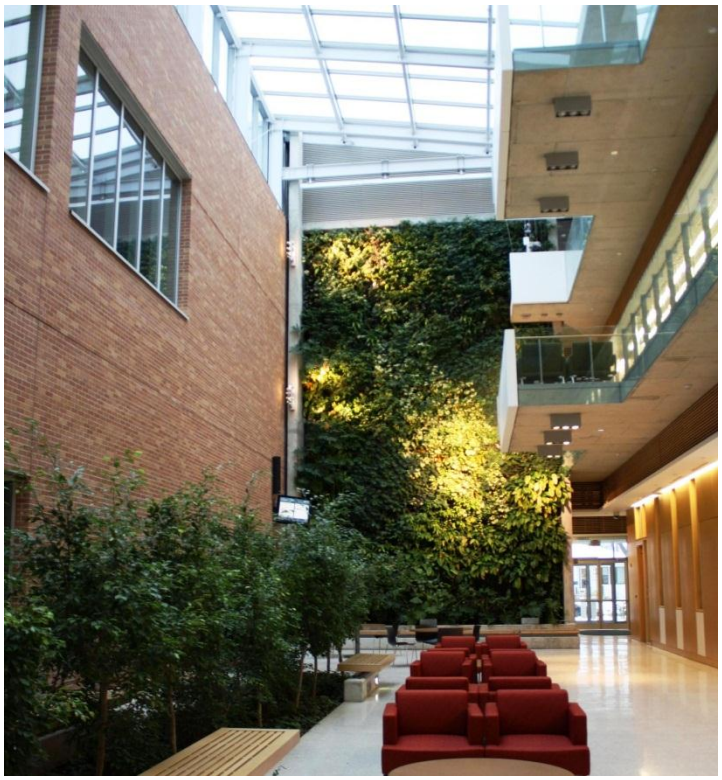


Рис. 2. Новый учебный корпус Университета в Виндзоре, Канада.

Новый корпус примыкает к внешней стене уже существующего здания. Многосветный атриум, являющийся центральным композиционным элементом, связывающим старое и новое здание, заслуживает самых высоких оценок с точки зрения дизайна и примененных последних технологий. Остекленное покрытие атриумного пространства позволяет максимально использовать дневной солнечный свет и поступающее с ним тепло. Полностью озелененная стена и небольшая посадочная полоса деревьев прямо внутри здания создают благоприятный микроклимат, психологически комфортное пространство, эстетически эффектное решение интерьера. Можно считать атриум или, в данном случае, - зимний сад, одним из важнейших элементов солнечного здания, который служит буферной зоной между интерьером и наружной средой. В таком пространстве воздух естественно циркулирует, дождевая вода используется для полива озелененной стены, а на крыше здания установлены солнечные батареи. Новый корпус Университета в Виндзоре – достойный пример новой, качественной, продуманной во всех отношениях эко-архитектуры.

Цель проектирования и строительства энергоэффективных зданий состоит в более эффективном использовании энергоресурсов, затрачиваемых на энергоснабжение здания, путем применения инновационных решений, которые “осуществимы технически, обоснованы экономически, а также приемлемы с экологической и социальной точек зрения и не меняют привычного образа жизни” [7]. Приоритетность при выборе энергосберегающих технологий имеют технические решения, “одновременно способствующие улучшению микроклимата помещений и защите окружающей среды”[8]. Организация и осуществление процесса проектирования и строительства энергоэффективных зданий в Канаде - является подтверждением этой мысли.

Перечень библиографических ссылок

1. *James Wines*. Green architecture. Tashen , 2000
2. *Эдвард Мазрия* . The Passive Solar energy book.
3. The Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)
4. *Файст Вольфганг* «Основные положения по проектированию пассивных домов» М, 2008
5. *Gevokrian P.* Альтернативные источники энергии в проектировании зданий. The McGraw-Hill Companies, 2009
6. *Харкнесс, Мехта*. Регулирование солнечной радиации в зданиях. М, 1984
7. *Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В*. «Энергоэффективные здания» М, 2003
8. *Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н. В*. Энергоэффективное высотное здание // АВОК. 2002. № 3.

Библиографический список

9. The Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)
10. *Эдвард Мазрия* . The Passive Solar energy book.
11. *James Wines*. Green architecture. Tashen , 2000
12. *Соловьев А.К.*. Физика среды. М, 2008
13. *Файст Вольфганг* «Основные положения по проектированию пассивных домов» М, 2008
14. *Харкнесс, Мехта*. Регулирование солнечной радиации в зданиях. М,1984
15. *Gevokrian P.* Альтернативные источники энергии в проектировании зданий. The McGraw-Hill Companies, 2009
16. *Алексеев Ю.В*., Казачинский В.П., Никитина Н.С. методические материалы «Научно-исследовательские работы» М, 2006
17. *Беляев В.С., Л.П.Хохлова*. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий.
18. *Бродач М.М.* VIIKKI – новый взгляд на энергосбережение // АВОК. 2002. № 6. С. 14.
19. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 года. М.: Энергия, 1980.
20. *Рябова Н*. Дом с пассивным солнечным обогревом // "Мастерская"
21. Энергоактивные здания. Под общ. ред. Селиванова.
22. *Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В*. «Энергоэффективные здания» М, 2003
23. *Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В*. Энергоэффективное высотное здание // АВОК. 2002. № 3.

05.13.18

Т.В. Леванова к.ф.-м.н., Ю.В. Долгушева

Омский филиал Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского
г. Омск, levanova@ofim.oscsbras.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ ДЛЯ ДВУХКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Рассматривается задача планирования производства изделий из отходов меховой и кожевенной промышленности. Для её решения приведена двухкритериальная модель, предложены алгоритмы муравьиной колонии, выполнены экспериментальные исследования.

Ключевые слова: *алгоритм муравьиной колонии, двухкритериальная оптимизация, целочисленное линейное программирование.*

В настоящее время для успешного планирования деятельности предприятий требуется широкое применение современных информационных технологий и систем поддержки принятия решений, основанных на использовании математических моделей и методов оптимизации. Подобные системы достаточно широко используются в различных отраслях машиностроения, нефтепереработке, металлургии и ряде других сфер производства. В меньшей степени это относится к области легкой промышленности. Особенно остро недостаток таких систем ощущается в производстве кожевенных и пушно-меховых изделий. Вместе с тем высокая стоимость кожевенного и мехового сырья делает актуальной задачу их рационального использования.

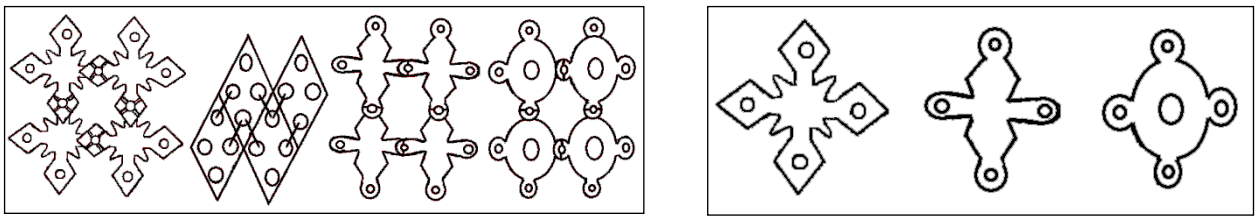
В последнее время для решения прикладных задач активно используются методы, идеи которых заимствованы у живой природы или физических явлений. К таким методам можно отнести генетические алгоритмы, алгоритмы имитации отжига, муравьиной колонии и др. [1].

В данной работе основное внимание уделяется алгоритмам муравьиной колонии (АМК), положительно зарекомендовавшим себя в прикладных исследованиях. Однако применение АМК к задачам многокритериальной оптимизации изучено не так широко [2].

Целью работы является построение и экспериментальное исследование алгоритмов муравьиной колонии для решения двухкритериальной задачи планирования производства изделий из отходов меховой и кожевенной промышленности.

Постановка двухкритериальной задачи планирования производства

Рассматриваемая в данной работе двухкритериальная математическая модель возникла в результате исследования прикладной задачи планирования производства изделий из меха и кожи. Одним из способов рационального использования отходов такого производства является создание меховых и кожевенных поверхностей (полотен), позволяющих получать двухсторонние объемные ажурные изделия из многочисленных элементов различных размеров и конфигураций (матричных элементов). С этой целью на кафедре технологии швейных изделий Омского государственного института сервиса (ТШИ ОГИС) разработан способ создания ажурных полотен для изготовления изделий из меха и кожи различных ассортиментных групп на основе метода комбинаторного формообразования [3]. Примеры полотен, полученных указанным способом, и матричных элементов изображены на рис. 1.



а) б)

Рис. 1 – Примеры ажурных полотен (а) и матричных элементов (б)

Предположим, что имеется некоторое число ажурных полотен, каждое из которых может быть использовано для изготовления одного или нескольких изделий. При этом учитываются условие разнообразия выпускаемой продукции, ограничения на число полотен и на объемы производства. Приведём математическую модель задачи [4].

Для построения модели введем следующие обозначения: m – число видов имеющихся полотен; i – номер вида полотна, $i \in I, I = \{1,...,m\}$; n – число видов выпускаемых изделий; j – номер вида изделия, $j \in J$, $J = \{1,...,n\}$; t_j – минимально допустимое количество видов полотен, которые могут быть использованы для изготовления изделия вида j; p – верхняя граница числа видов полотен, выбираемых для производства общей совокупности изделий; h_j, k_j – нижняя и верхняя граница объемов производства изделия j; w_{ij}, v_{ij} – минимальное и максимальное допустимое число изделий j, выпускаемых из полотна i, причём $v_{ij} \geq w_{ij} \geq 1$.

Целесообразность выбора полотна i для выпуска изделия j определяется оценкой эффективности $s_{ij} = g_{ij} f_{ij} + r_{ij} d_{ij}$, которая находится с учётом таких характеристик полотна, как прочность f_{ij} и драпируемость, g_{ij}, r_{ij} – коэффициенты весомости (важности) этих свойств при изготовлении изделия i из полотна j; b_j – количество полотна, необходимое для изготовления j-го изделия; c_i – стоимость единицы i-го полотна, $i \in I, j \in J$.

Переменными математической модели являются: $z_{ij} = 1$, если полотно i используется при изготовлении изделия j, $z_{ij} = 0$ в противном случае; $z_i = 1$, если полотно i используется при изготовлении изделий, иначе $z_i = 0$; x_{ij} – количество изделий j, выпускаемых из полотна i, $X = (x_{ij})$, $i \in I, j \in J$.

Модель целочисленного линейного программирования имеет вид:

$$F_1(X) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} s_{ij} x_{ij} \to \max \quad (1)$$

$$F_2(X) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_i b_j x_{ij} \to \min \quad (2)$$

при условиях

$$\sum_{i \in I} z_i \leq p, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} z_{ij} \geq t_j, j \in J, \quad (4)$$

$$z_i \leq \sum_{j \in J} z_{ij} \leq n z_i, i \in I, \quad (5)$$

$$h_j \leq \sum_{i \in I} x_{ij} \leq k_j, j \in J, \quad (6)$$

$$w_{ij} z_{ij} \leq x_{ij} \leq v_{ij} z_{ij}, i \in I, j \in J, \quad (7)$$

$$z_i, z_{ij} \in \{0,1\}, x_{ij} \in Z_+, i \in I, j \in J. \quad (8)$$

В целевой функции (1) максимизируется суммарная оценка эффективности полотен, выбранных для выпуска изделий, в критерии (2) минимизируются затраты на их выпуск.

Неравенствами (3) ограничивается сверху число используемых полотен. С помощью условий (4) задаётся наименьшее число полотен для изготовления каждого изделия. Соотношениями (5) гарантируется использование полотна в общем производстве только в том случае, когда из него производится хотя бы одно изделие. В условиях (6) соблюдаются ограничения на объемы производства и в неравенствах (7) задаются границы на выпуск изделий.

Метод решения.

Для решения рассматриваемой многокритериальной задачи использовалась линейная свёртка. При этом подходе от многокритериальной задачи переходят к однокритериальной путём замены системы целевых функций на одну линейную. В предложенном алгоритме муравьиной колонии решается последовательность таких однокритериальных задач с коэффициентами линейной свёртки λ_1, λ_2, изменяющимися с шагом δ. Допустимые решения, удовлетворяющие (3)-(8), отыскиваются с помощью алгоритма искусственного муравья.

Впервые алгоритмы муравьиной колонии (АМК) были предложены Dorigo, Maniezzo и Colorni в 1991 году для решения задачи коммивояжера. В дальнейшем они успешно применялись к различным задачам комбинаторной оптимизации [2]. В Омском филиале Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН и Омском государственном университете им. Ф.М. Достоевского на протяжении ряда лет ведётся разработка алгоритмов муравьиной колонии и других методов для задач размещения и планирования производства (например, [3-7]).

В основе алгоритма муравьиной колонии лежит идея коллективного разума живых муравьёв, умеющих накапливать и передавать информацию другим членам колонии с помощью специального химического вещества – феромона. Это вещество позволяет муравьям находить кратчайший путь от муравейника до источника пищи.

Алгоритм искусственного муравья (ИМ) обычно представляет собой относительно простую вероятностную процедуру и является частью более сложного алгоритма муравьиной колонии. Искусственный муравей отыскивает решение, обработка и передача полученной информации происходит в АМК с помощью специального аналога феромона – статистической информации. Разработка алгоритма для конкретного класса задач состоит в определении способа нахождения начального решения, исходного уровня феромона и закона его изменения, выбора вида окрестности и правил её просмотра, построении алгоритма ИМ и пр.

Пусть, τ_{ij}^1, τ_{ij}^2 – значения статистической информации, η_{ij}^1, η_{ij}^2 – характеристики привлекательности используемых полотен для критериев $F_1(X), F_2(X)$; ρ – коэффициент испарения феромона ($0 \le \rho \le 1$); $F = (F_1, F_2)$.

Схема работы алгоритма МК

Итерация 0. Задаем начальный уровень феромона $\tau_{ij}^{1(0)}, \tau_{ij}^{2(0)}$. определяем значения привлекательности $\eta_{ij}^{1(0)} = \dfrac{s_{ij}}{\sum\limits_{j \in J} s_{ij}}, \eta_{ij}^{2(0)} = \dfrac{1}{c_j b_j \sum\limits_{j \in J} s_{ij}}, i \in I, j \in J$. При помощи алгоритма линейной свертки с параметрами $\lambda_1 = 0, \lambda_2 = 1$ находим начальное допустимое решение $(F^{(0)}, X^{(0)}, Z^{(0)}, z^{(0)})$ задачи (1)-(8). Параметр δ определяет шаг работы алгоритма МК, множества $L_{best}^{(0)} = \varnothing$, $L^{(0)} = L_{best}^{(0)}$.

Итерация $k, k \ge 1$. Пока $\lambda_1 \le 1$ выполняем следующие действия 1)-5):

1) строим L допустимых решений алгоритмом ИМ;

2) из общей совокупности решений $L_{best}^{(k-1)}$ и L решений итерации k выделяем несравнимые по целевым функциям и формируем множество $L^{(k)}$; затем из $L^{(k)}$ случайным

образом выбираем решение $(F^{(k)}, X^{(k)}, Z^{(k)}, z^{(k)})$, на основании которого строится множество $L_{best}^{(k)}$;

3) переопределяем значения $\tau_{ij}^{1(k)}, \tau_{ij}^{2(k)}$, по правилу

$$\tau_{ij}^{1(k)} = (1-\rho) z_{ij}^{(k)} \tau_{ij}^{1(k-1)} + \tau_{ij}^{1(k-1)}, \quad \tau_{ij}^{2(k)} = (1-\rho) z_{ij}^{(k)} \tau_{ij}^{2(k-1)} + \tau_{ij}^{2(k-1)}, i \in I, j \in J;$$

4) изменяем значения $\eta_{ij}^{1(k)}, \eta_{ij}^{2(k)}$, по формулам

$$\eta_{ij}^{1(k)} = \frac{s_{ij} x_{ij}^{(k)}}{\sum_{j \in J} s_{ij} x_{ij}^{(k)}}, \eta_{ij}^{2(k)} = \frac{x_{ij}^{(k)}}{c_i b_j \sum_{j \in J} c_i b_j x_{ij}^{(k)}}, i \in I, j \in J;$$

5) задаем $\lambda_1 := \lambda_1 + \delta, \lambda_2 := 1 - \lambda_1$; идём на следующую итерацию, $k := k + 1$.

Начальное допустимое решение отыскивалось пакетом GAMS. Использовались значения параметров: $\tau_{ij}^{1(0)} = \tau_{ij}^{2(0)} = 0{,}3$, $L = 15$, $\rho = 0{,}95$.

Алгоритм искусственного муравья состоит в следующем. Муравей, двигаясь от одного изделия к другому, назначает каждому из них виды полотен, удовлетворяющие требованиям производства. Было предложено две модификации алгоритма ИМ, отличающихся способом определения значений элементов z_{ij} матрицы используемых полотен. В первом учитывается вероятность $p_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{1\lambda_1} \tau_{ij}^{2\lambda_2} \eta_{ij}^{1\lambda_1} \eta_{ij}^{2\lambda_2}}{\sum_{j \in J} \tau_{ij}^{1\lambda_1} \tau_{ij}^{2\lambda_2} \eta_{ij}^{1\lambda_1} \eta_{ij}^{2\lambda_2}}$ выбора полотна вида i для изготовления изделия j, во втором применяется локальный поиск по окрестности *1-Swap*. На их основе предложены варианты алгоритма муравьиной колонии МК1, МК2. Для исследования алгоритмов построены четыре серии тестовых примеров с использованием реальных данных.

С целью улучшения результатов работы АМК предложен многократный запуск на различных частях допустимой области. На основе МК1 и МК2 были построены два мультистартовых алгоритма ММК1 и ММК2. Численный эксперимент на тестовых примерах не позволяет сделать однозначного вывода о превосходстве одного алгоритма над другим. Однако, если рассматривать показатель y среднего числа полотен, используемых для изготовления одного изделия, то можно рекомендовать применять ММК1 в случае $y < 2$ и ММК2 при $y \geq 2$.

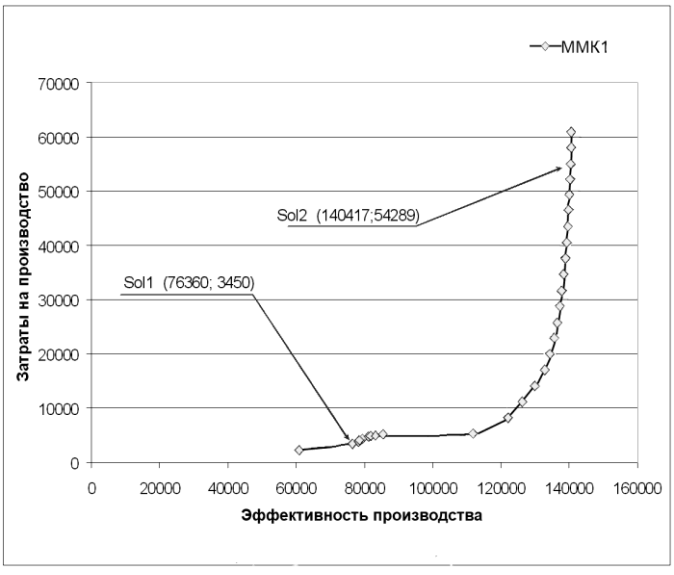


Рис. 2 – Результаты работы мультистартового алгоритма

На рис. 2 приведены результаты работы алгоритма ММК1 на примере с реальными данными. Из 38 видов полотен необходимо выбрать не более 10 для изготовления 12 изделий. Набор полотен должен удовлетворять всем производственным требованиям, а также быть приемлемым с точки зрения эффективности и затрат на изготовление изделий. Проиллюстрируем два произвольных решения $Sol1(F_1, F_2)$, $Sol2(F_1, F_2)$, найденных алгоритмом. Они несравнимы по критериям и отличаются набором полотен (рис. 3). Первое решение содержит полотна с номерами 1, 2, 3, 4, 5, а второе состоит из полотен 3, 4, 5, 6, 7 . Заметим, что полотна, соответствующие второму решению, больше отвечают эстетическим требованиям. Однако в первом случае затраты на производство изделий ниже. Окончательный выбор варианта осуществляет специалист.

Таким образом, предложенные алгоритмы способствуют более рациональному использованию сырья и могут включаться в системы поддержки принятия решений при планировании производства.

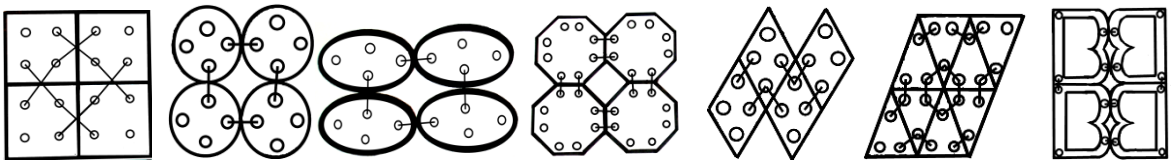


Рис. 3 – Виды полотен

Список литературы

1. Metaheuristics for Hard Optimization: Methods and Case Studies // ed. by J. Dréo, A. Pétrowski, P. Siarry, E. Taillard: Springer, 2005. – 369 p.

2. *Dorigo M., Stützle T.* Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances // Handbook of metaheuristics: Springer, 2010, V. 146. – P. 227-263.

3. *Колоколов А.А., Андросова Г.М., Ерохова Я.А., Олейник Ю.И.* Оптимизация подбора ажурных полотен для изготовления изделий из кожи и меха // Современные тенденции и перспективы развития образования в высшей школе: сб. статей III Междунар. науч.-практич. конф., ч. 1. – Омск: ОГИС, 2005. – С. 121-122.

4. *Леванова Т.В., Долгушева Ю.В.* Алгоритм муравьиной колонии для одной задачи планирования производства // Динамика систем, механизмов и машин: матер. VII Междунар. науч.-техн. конф. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. – Кн. 3. – С. 71-75.

5. *Колоколов А.А., Лукьянов А.Г.* Эвристические алгоритмы для решения одной задачи планирования мелкосерийного производства сложных изделий // Автоматизация и современные технологии, 2010, №9. – С. 29-33.

6. *Леванова Т.В., Лореш М.А.* Алгоритмы муравьиной колонии и имитации отжига для задачи о *p*-медиане // Автоматика и телемеханика, 2004. №3. – С. 80-88.

7. *Леванова Т.В., Усько О.В.* Алгоритм муравьиной колонии для одной задачи размещения с ограничениями на мощности производства // Вестник УГАТУ, 2010, Т. 14, №2 (37). – С. 202-208.

05.07.05

М.А. Ляховецкий

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
факультет «Двигатели летательных аппаратов»,
кафедра «Технология производства двигателей летательных аппаратов»
Москва, lyakhovetsky@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА В ИЗУЧЕНИИ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ (МДО)

В работе представлены результаты применения методов планирования эксперимента по изучению свойств МДО покрытий, получаемых на циркониевых сплавах. Получены регрессионные зависимости свойств покрытий (плотность, твердость, шероховатость) от режимных параметров МДО процесса. Они хорошо согласуются с эмпирическими представлениями о механизмах роста МДО покрытия и позволяют эффективно оптимизировать процесс для различных сплавов.

Ключевые слова: *микродуговое оксидирование, планирование эксперимента, циркониевые сплавы*.

Совершенствование техники неразрывно связано с увеличением ресурса и надежности её деталей, узлов и агрегатов. В машиностроении одной из важнейших характеристик изделия является свойства поверхностного слоя (ПС), так как во многих случаях ресурс и надежность определяется износом трущихся поверхностей, их коррозионной стойкостью и т.д. Для улучшения этих характеристик большое распространение получили различные методы модификации ПС (струйно-абразивная, ультразвуковая обработка и др.) и нанесения защитных покрытий (плазменное напыление, металлизация, вакуумное осаждение пленок, электрохимические методы и др.).

Одним из главных критериев выбора покрытия и метода его формирования становится низкая стоимость технологической установки и реализуемого технологического процесса. Этим критериям в полной мере может отвечать метод МДО.

В основе метода МДО лежат электрохимические, тепловые и плазменные явления, происходящие на поверхности обрабатываемой детали [1,2]. Суть метода заключается в организации на поверхности вентильного металла (Al, Mg, Ti, Zr, Nb, Ta, т.е. металла, поверхность которого покрыта оксидной пленкой, обладающей полупроводниковыми свойствами) микроразрядов по средствам подачи потенциала (до 1000В) между рабочей деталью и контрэлектродом в жидкой среде (электролите). Благодаря микроразрядам, перемещающимся по поверхности детали, происходит увеличение толщины покрытия, легирование покрытия элементами, входящими в состав электролита, образование высокотемпературных соединений, повышение твердости, износостойкости, коррозионной стойкость изделия и т.д.

Преимуществами метода МДО по сравнению с другими методами формирования покрытия являются:

- высокая адгезия (>1000 кг/см^2 для Al сплавов) и когезия покрытия за счет формирования его из материала подложки и плазменной природы процесса,
- высокая твердость за счет образования высокотемпературных фаз (температура в микроразряде (плазменном разряде) может достигать, по разным источникам, значений 20 000К[2], а после пробоя следует быстрое охлаждение за счет теплоотвода, т.е. закалка),

- относительная экологическая безопасность среды (электролита), в которой реализуется процесс МДО, по сравнению с другими электрохимическими процессами (чаще всего используются щелочные растворы небольших концентраций с добавкой различных растворимых солей калия или натрия),
- цена процесса дешевле по сравнению с другими электрохимическими процессами, а также вакуумными методами.

К недостаткам можно отнести:

- малую степень изученности процесса на металлах и сплавах кроме алюминия,
- сложности в моделирования процесса формирования покрытия в связи с тем, что он является самоорганизующимся.

Последний пункт является главной сложностью в формировании покрытий с заданными свойствами методом МДО по имеющимся режимам при переходе не только к другим металлам, но и сплавам одной и той же системы. Например, покрытие, сформированное в одинаковых режимах и в одном электролите на чистом алюминии, будет кардинально отличаться от покрытия, сформированного на чистом цирконии, в связи с различиями в системе металл-оксид-электролит (МОЭ), которая является определяющей.

Главными характеристиками процесса формирования, которые имеют сильное влияние на свойства МДО покрытия, являются:

1) состав и концентрация компонентов электролита:
   а) на основе кислот или щелочей,
   б) многокомпонентные (добавки растворимых соединений),
   в) суспензионные (добавление нерастворимых соединений), и т.д.
2) режимные параметры:
   а) время МДО процесса (t, мин),
   б) плотность тока (j, А/дм2),
   в) температура (Т,ОС)
   г) тип источника питания и параметры сигнала.

Из вышесказанного становится понятно, что процесс МДО является комплексным, самоорганизующимся процессом, параметры которого имеют сильную связь и влияние друг на друга. Это приводят к тому, что для анализа режимных параметров и влияния электролита при МДО к процессу подходят как к системе «черного ящика». Т.е. для её изучения используют регрессионные методы математического моделирования, в частности методы планирования эксперимента [3], без применения которых возникают большие сложности в представлении общей картины влияния параметров МДО на покрытие. Таким образом, для более детального изучения влияния электролитов и режимных параметров на процесс МДО, а также нахождения путей его совершенствования, необходимо исследование возможностей получения адекватных математических моделей.

Задачами настоящего исследования являлись:

- получение регрессионных математических моделей: режимный параметр процесса - свойство покрытия,
- сравнение полученных зависимостей с общими представлениями о физической картине процесса МДО.

МДО покрытие формировалось на образцах из циркониевого сплава Э-110 (Zr-1%Nb). Образец представлял собой трубку диаметром 9,1 мм и длинной 30 мм, стянутую с обеих сторон специальной оправкой, не позволяющей проникать электролиту внутрь и обеспечивающей электрический контакт с клеммами источника питания. Для формирования МДО покрытия применялся электролит, содержащий KOH, Na_2SiO_3 и порошковую добавку соединения алюминия.

Для исследования использовался центральный композиционный план со звездными точками. Центральная точка имела координаты (j; t; Ik/Ia) = (9; 25; 1), шаг (Δj; Δt; Δc) = (± 3 А/дм^2; ± 10 мин; $\pm 0{,}2$), температура электролита поддерживалась между Т = 25-35^{o}С.

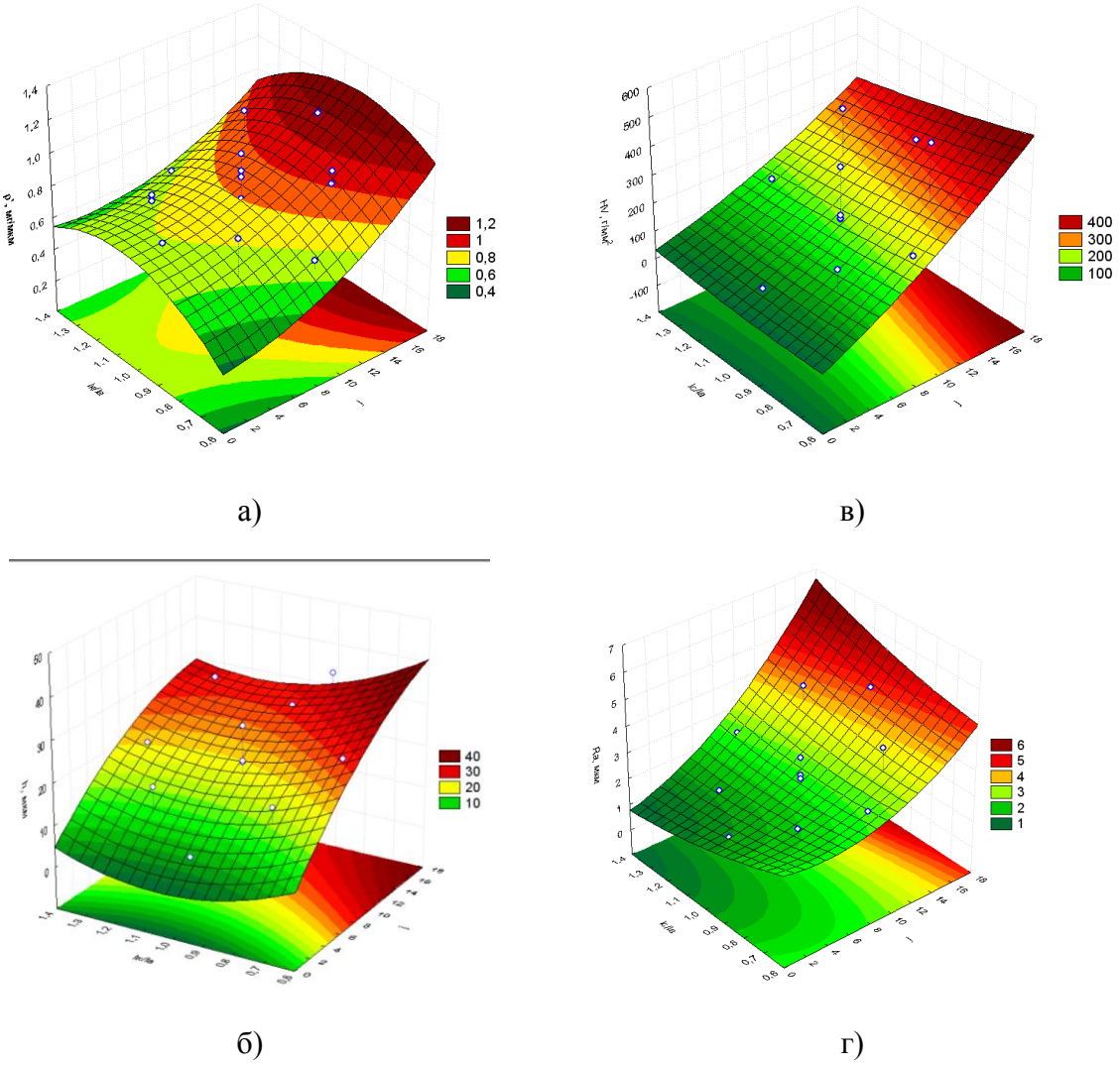
Режимные параметры и измеренные данные физических свойств покрытий представлены в таблице 1. По приведенным данным были посчитаны регрессионные математические модели и построены поверхности отклика с помощью программы Statistica. На рисунке 1а-г представлены поверхности отклика в зависимости от плотности тока и соотношения токов в катодный и анодный полупериоды при фиксированном значении времени оксидирования t=25мин.

На рисунке 1а показана зависимость плотности покрытия с учетом равной площади образцов. Видно, что плотность покрытия фактически линейно возрастает в зависимости от значения тока, а зависимость от соотношения имеет максимум при значении равном 1. Необходимо отметить, что из-за особенностей строения МДО покрытия (наличие трех слоев: пористого (технологического), малопористого (рабочего) и беспористого (барьерного)) параметр плотности покрытия является не совсем корректным и верен только в первом приближении для тонких покрытий (~10мкм). Так как неравномерность значения пористости по толщине может быть значительным.

Таблица 1 – Таблица центрального плана со звездными точками.

№	j, А/дм^2	t, мин	Ik/Ia	dρ', мг/мкм	h, мкм	HV_{200}	Ra,мкм
1	2	3	4	5	6	7	8
1	5	15	1,2	0,75	6,9	60,8	1,62
2	15,69	25	1	1,09	26,5	339,3	4,64
3	5	15	0,8	0,52	10,6	64,2	1,56
4	13	35	1,2	1,03	33,4	402,2	4,22
5	5	35	1,2	0,72	16,3	136,5	2.60
6	2,31	25	1	0,72	6,4	53,7	1,36
7	5	35	0,8	0,83	17,9	173,8	2,19
8	9	41,73	1	1,05	29,2	358,1	3,13
9	9	8,27	1	0,95	5,5	60,7	1,44
10	13	15	0,8	0,91	16,6	174,3	2,53
11	9	25	0,67	0,69	26,4	211,4	2,75
12	13	15	1,2	0,86	14,6	146,1	2.85
1	2	3	4	5	6	7	8
13	9	25	1	0,74	20,5	177,1	2,48
14	9	25	1	0,91	16,8	178,1	2,46
15	9	25	1,33	0,67	20,2	158,7	2,52
16	13	35	0,8	0,99	40	465,9	3,75
17	9	25	1	0,77	20,8	187,9	2,35

Так если посмотреть на рисунке 1б зависимости толщины покрытия от тех же факторов, то видно, что сильное влияние оказывает значение тока, а соотношение токов не такое значимое. При этом максимальное значение толщины наблюдается при максимальном токе и соотношении равном 0,8, что соответствует большему значению анодного тока.



а) в)

б) г)

Рис. 1 - Поверхность отклика регрессионных моделей при фиксированном значении времени процесса t = 25мин а) плотности, б) толщины, в) микротвердости, г) шероховатости при изменении плотности тока (j, А/дм^2) и соотношения токов (Ik/Ia)

Значение анодной составляющей тока должно оказывать сильное влияние на процесс, так как рост пленки осуществляется именно в этот период из-за прохождения плазменного разряда. В катодный период происходит восстановление пленки и выделение водорода, который затем, в анодный период, увеличивает температуру плазмы. Возможно, в нашем случае из-за ограничения процесса по времени значимость анодной составляющей не такая большая и заметна только при максимальном значении тока.

На рисунке 1в приведена зависимость твердости покрытия при фиксированном времени t=25мин, измеренная по методу Виккерса с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 200г. Значение твердости полностью совпадет с прогнозом. Происходит линейный рост значения при увеличении тока и анодной токовой составляющей, что объясняется увеличением тока в микроразряде, а, следовательно, энергии, что приводит к образованию высокотемпературных фаз, количество которых с увеличением тока обычно возрастает.

Более интересно ведет себя поверхность отклика значения шероховатости (рисунок 1г). Прогнозировалось, что значение шероховатости будет максимальным при максимальном анодном токе, но, как видно, ситуация обратная. Такое явление можно объяснить тем, что, как уже упоминалось выше, в катодный полупериод происходит выделение водорода, который затем непосредственно участвует в плазменных реакциях, увеличивая её

температуру. Для понимания влияния плазмы и водорода на формирование покрытия, рассмотрим картину развития микроразряда.

При пропускании тока в начальный момент времени происходит рост пленки аналогично процессу анодирования. Затем при достижении определенной толщины пленки её сопротивление становится слишком большим для протекания тока по всей поверхности электрода и происходит локальный пробой.

При пробое покрытия образуется плазменный канал [1,2,4]. В состав плазмы входят элементы покрытия, сплава и электролита, а также газов, выделяющихся на поверхности электрода (кислород, водород).

Длительность плазменного разряда определяется её газодинамическим расширением. Так как объем, в котором происходит разряд, не является замкнутым, а имеет естественный выход со стороны электролита, то нагретая плазма расширяется в сторону устья канала. Расширение плазмы приводит к её охлаждению, росту сопротивления и прекращению прохождения тока, т.е. подача энергии в канал прекращается. Расширяясь относительно холодный газ, выплескивает часть вещества на поверхность покрытия, которое осаждается и переходит в твердое состояние. Другая часть вещества осаждается на стенках канала, выход газа и его выплеск с веществом при этом сопровождается характерным звуком – треском.

Количество задействованного в разряде вещества, а также количество высокотемпературных фаз зависит от температуры, которая, в свою очередь, зависит от количества водорода. Таким образом, повышение количества водорода при повышении катодного тока может приводить к большему количеству вещества задействованного в плазмохимической реакции и влиять на шероховатость в сторону её увеличения.

Таким образом, математическое моделирование процесса МДО с применением регрессионных методов дает возможность рассмотреть общие тенденции развития роста покрытия и влияние режимных параметров на его свойства.

Научное исследование проводится при финансовой поддержки Минобрнауки России по программе ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013годы в соответствии с соглашением № 14.132.21.1608.

Список литературы

1. *Суминов И., Белкин П., Эпельфельд А., Людин В., Крит Б., Борисов А*., Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов в 2-х томах, Том II, М: Техносфера, 2011 – 512 с [1]

2. *Чуян Р.К.*, Методы математического моделирования двигателей летательных аппаратов, М.: Машиностроение, 1988, 288 с [3]

3. *Klapkiv M.D.,* Simulation of synthesis of oxide-ceramic coatings in discharge channels of a metal-electrolyte system, Material Science, Volume 35, No. 2, 1999, p. 279-283 [4]

4. *Yerokhin A.L., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowey S.J.*, Plasma electrolysis for surface engineering, Surface and Coatings Technology, Volume 122, Issues 2–3, 15 December 1999, p. 73–93 [2]

05.13.18

[1]Т.Ф. Мамедова к.ф.-м.н., [2]А.А. Ляпина

[1]Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра прикладной математики, Саранск, mamedovatf@yandex.ru

[2]Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра прикладной математики, Саранск, lyapina@e-mordovia.ru

АСИМПТОТИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРОВСКОГО ТИПА

В работе приведен алгоритм исследования устойчивости и решения систем нелинейных дифференциальных уравнений. Данный алгоритм реализован для математической модели типа «хищник-жертва».

Ключевые слова: *система обыкновенных дифференциальных уравнений, асимптотическая устойчивость по части переменных, модель «хищник-жертва».*

В настоящее время большое внимание уделяется изучению методов исследования моделей нелинейной динамики, в том числе одной из центральных проблем - проблеме устойчивости, стабильности систем. На сегодняшний день существует множество разработанных подходов решения данной задачи.

Данная работа посвящена изучению методом сравнения Е.В. Воскресенского [1] процессов изменения состояний систем, описываемых нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями. Применим этот метод к исследованию устойчивости решений системы дифференциальных уравнений вольтерровского типа.

Пусть Ω – некоторое множество дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dx}{dt} = f(t,x),$$

где $f \in C([T,+\infty)\times R^n, R^n)$. Будем считать, что $x(t:t_0,x_0)$- единственное решение этого уравнения, удовлетворяющее начальным данным (t_0,x_0), $\forall t_0 \geq T$, $x_0 \in R^n$.

Предположим, на множестве Ω определена либо группа преобразований (G,Ω), либо полугруппа преобразований с единицей. Тогда на Ω индуцируется отношение эквивалентности ρ_1. Будем считать, что отношение ρ_1 равносильно требованию: для эквивалентных уравнений

$$\frac{dx}{dt} = f_1(t,x) \quad , \tag{1.1}$$

$$\frac{dy}{dt} = f_2(t,y) \tag{1.2}$$

при $\forall t_0 \geq T_0 \geq T$ существуют два отображения $P_1 : R^n \to R^n$ и $P_2 : R^n \to R^n$ такие, что

$$x(t:t_0,x_0) = y(t:t_0,P_2x_0) + o(\mu(t)),$$
$$y(t:t_0,y_0) = y(t:t_0,P_1y_0) + o(\mu(t)),$$

при $t \to +\infty$ для всех решений $x(t:t_0,x_0)$, $y(t:t_0,y_0)$, определенных при всех $t \geq t_0$, $\mu : [T,+\infty) \to [0,+\infty)$ - фиксированная функция для всего множества Ω. В этом случае

отношение эквивалентности ρ_1 будем называть эквивалентностью Брауера относительно функции μ, а уравнения (1.1) и (1.2) – асимптотически эквивалентными по Брауеру относительно функции μ [1].

Постановка задачи

Исследуется одна из основных задач системной динамики - оценка устойчивости системы.

Ставится задача изучения процессов изменения состояний систем, описываемых нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями, методом сравнения Е.В.Воскресенского [1].

Алгоритм исследования систем нелинейных дифференциальных уравнений

Рассмотрим дифференциальные уравнения:

$$\dot{x} = A(t)x + f(t,x), \tag{1}$$

$$\dot{y} = A(t)y, \tag{2}$$

где $A(\cdot):[T,+\infty) \to Hom(R^n,R^n)$, $f \in C^{(0,1)}(R_+^1 \times R^n, R^n)$.

Решение $x(t:t_0,x_0)$ уравнения (1) существует для всех начальных условий $(t_0,x_0) \in T \times R^n$ и $t \in T$, $T=[0,+\infty)$. Предположим так же, что уравнение (1) имеет решение $x(t) \equiv 0$.

Алгоритм исследования систем нелинейных дифференциальных уравнений состоит в следующем:

1. Построение уравнения сравнения (2).
2. Построение фундаментальной матрицы решений системы $Y(t)=(y_{ij}(t))$, $i,j=\overline{1,n}$, $Y(t_0)=E$, $t_0 \in [T_0,+\infty)$, $T_0 \ge T$.
3. Построение обратной матрицы $Y^{-1}(t)=(y^{ji}(t))$, $i,j=\overline{1,n}$.
4. Оценка нелинейной части системы $\left|f_j(t,x_j,\ldots,x_n)\right| \le \lambda_j\left(t,\left|x_{j_1}\right|,\ldots,\left|x_{j_q}\right|\right)$, $\forall j \in N$, $\{j_1,\ldots,j_q\} \in M_0$; $\lambda_j(t,r_1,\ldots,r_i,\ldots,r) \le \lambda_j(t,\bar{r}_1,\ldots,\bar{r}_i,\ldots,\bar{r}_q)$, $r_i \le \bar{r}_i$, $i=\overline{1,q}$ при всех $t \in [T,+\infty)$.
5. Вычисление эталонных функций сравнения. Функции $\mu_i:[T,+\infty) \to R_+^1$, $m_i:[T,+\infty) \to R_+^1$, удовлетворяют неравенствам $\mu_i \ge \max\limits_{j \in N_0}\{|y_{ij}(t)|\}$, $T_0 \le t_0 \le t < +\infty$, $i \in M_0$, если $N_0 \ne 0$, $j \in N_0$ и $\mu_i \ge 0$; если $N_0 = 0, i \in M_0$, $m_i(t) \ge \max\{\max\limits_{j \in M_0}|y_{ij}(t)|, \mu_i(t)\}$, $T_0 \le t_0 \le t < +\infty$, $i \in M_0$. $|\varphi_i(t)| \le c m_i(t)$, $i=\overline{1,q}$, $\varphi \in C([T,+\infty),R^n)$.
6. Определение равномерной сходимости несобственного интеграла по t при $c \to 0$, , $\mu_i(t) \to 0$, $\forall t \in [T,+\infty)$, $\forall i \in M_0$ на любом компакте из $[T;+\infty)$: $J_i(t,\varphi) = \int\limits_{t_0}^{t} \sum\limits_{\substack{j \in M \\ k \in B}} y_{ik}(t) y^{jk}(s) f_j(s,\varphi(s))ds - \int\limits_{t}^{+\infty} \sum\limits_{\substack{j \in N \\ k \in M}} y_{ik}(t) y^{jk}(s) f_j(s,\varphi(s))ds$, $B = N \setminus M$, $J_i(t,\varphi)$ существует $\forall i \in N$, $c \in R_+^1$ и $J_i(t,\varphi) = o(\mu_i(t))$ при $t \to +\infty$ и всех $i \in M_0$.
7. Построение уравнения сравнения:

$$\frac{dz}{dt} = \sum_{k,j \in N} |y^{jk}(t)| \lambda_j(t, zm(t)) \tag{3}$$

Выявление существования решений уравнения (3), определенных на любом компакте из $[T;+\infty)$.

8. Выполнение пунктов 2-7 для уравнений (1) и (2) гарантирует асимптотическую эквивалентность по Брауеру.

9. Если пункты 2-7 для уравнений (1) и (2) не выполняются, то строим новое уравнение сравнения, т.е. переходим к пункту 1.

Численная реализация алгоритма на примере исследования математической модели вольтерровского типа

Для проведения исследования модели взаимодействия трех сообществ рассмотрим модель. Система дифференциальных уравнений (модель Лотки-Вольтерра), описывающая динамику системы «хищник-жертва», имеет следующий вид [2]:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = rx\left(1-\dfrac{x}{K}\right) - a_1 xy - \varpi_1 xz, \\ \dfrac{dy}{dt} = sy\left(1-\dfrac{y}{L}\right) - a_2 xy - \dfrac{\varpi_2 yz}{m+y}, \\ \dfrac{dz}{dt} = b_1\varpi_1 xz + b_2\varpi_2 \dfrac{yz}{m+y} - cz. \end{cases} \quad (5)$$

здесь где x, y, z - плотности популяций двух жертв и хищника, предполагается, что все параметры постоянны и неотрицательны; r и s – темпы роста двух видов жертв соответственно; K – емкость среды; L – нижняя критическая численность; c – скорость естественной гибели популяции хищников в единицу времени в расчете на одного хищника в отсутствии жертв; a_1 и a_2 - эффективный коэффициент популяционного роста численности двух видов жертв соответственно (выражают влияние на скорости роста – гибели каждой популяции при наличии другой популяции); ϖ_1, ϖ_2 - коэффициенты роста численности хищника за счет потребления жертв; b_1, b_2 - коэффициенты естественной смертности хищника связанные с темпами роста популяции жертв (коэффициенты преобразования, обозначающие число (недавно) родившихся хищников для каждого захваченного вида жертв.

Для численной реализации выберем следующие параметры:

$r = 3{,}5;\ \mathrm{K} = 150;\ \mathrm{a}_1 = 0{,}001;\ \mathrm{w}_1 = 0{,}24;\ \mathrm{s} = 4{,}5;\ \mathrm{L} = 150;\ \mathrm{a}_2 = 0{,}1;\ \mathrm{w}_2 = 0{,}21;\ \mathrm{m} = 15;$

$\mathrm{b}_1 = 0{,}5;\ \mathrm{b}_2 = 0{,}6;\ \mathrm{c} = 3{,}9.$

Тогда система (5) примет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = 3{,}5x\left(1-\dfrac{x}{150}\right) - 0{,}001xy - 0{,}24xz, \\ \dfrac{dy}{dt} = 4{,}5y\left(1-\dfrac{y}{150}\right) - 0{,}1xy - \dfrac{0{,}21yz}{15+y}, \\ \dfrac{dz}{dt} = 0{,}5\cdot 0{,}24xz + 0{,}6\cdot 0{,}21\dfrac{yz}{15+y} - 3{,}9z. \end{cases} \quad (6)$$

Система (6) исследована согласно вышеизложенному алгоритму. Исследование системы из двух дифференциальных уравнений было подробно исследовано в статье [3]. Пункты 2-7 алгоритма выполняются, следовательно, тривиальное решение системы уравнений (6) асимптотически устойчиво по всем переменным.

Графическая иллюстрация решения системы (6) имеет вид:

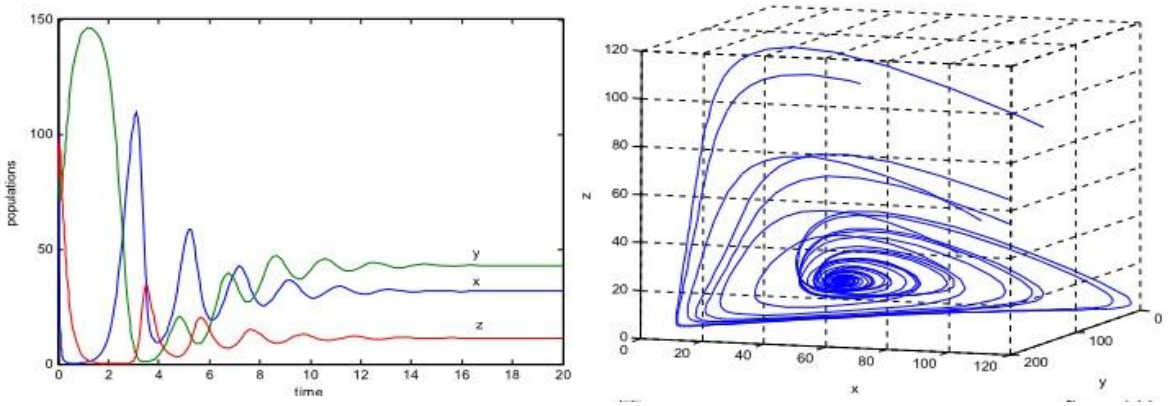


Рис 1. Графическая иллюстрация решения системы (6).

Список литературы

1. *Воскресенский Е.В.* Асимптотические методы: Теория и приложения. - Саранск: Средневолжское математическое общество, 2001. – 300 с.
2. T.K. Kar and Ashim Batabyal Persistence and stability of a two prey one predator system // International Journal of Engineering, Science and Technology. Vol. 2. - № 2. 2010. P. 174-190.
3. *Ляпина А.А., Мамедова Т.Ф.* Об исследовании устойчивости решения системы дифференциальных уравнений вольтерровского типа // Научно–технический вестник Поволжья. Казань: Научно–технический вестник Поволжья. – 2012. – С. 195 – 198.

05.07.05

А.А. Матушкин, В.Г. Нестеренко к.т.н., В.В. Нестеренко

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет) МАИ,
Москва, radon@inbox.ru

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ГТД С ЩЕЛЕВЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

В статье приведена методика проектирования и конструкция рабочей лопатки турбины высокого давления с «щелевым» охлаждением, а так же особенности проектирования конструкции щелей. Рассмотрены варианты проектирования щелевого охлаждения лопаток турбин с учётом возможности изменения её формы и определяющих геометрических параметров.

Ключевые слова: *охлаждаемые лопатки турбин, плёночное охлаждение, заградительное охлаждение, щелевое охлаждение.*

Известны методы охлаждения и конструкции лопаток турбин с плёночной системой охлаждения, где для создания плёнки используются щели или последовательность щелей, через которые охладитель выдувается на охлаждаемые профильные поверхности пера лопатки [1]. Так же существуют конструкции лопаток с выпуском охлаждающего воздуха через щель на спинку лопатки, как, например, лопатка приведенна в патенте (US 4664597, F01D5/18, 1987). Недостатком известных конструкций является то, что охладитель выдувается под углом к обтекающему лопатку основному потоку газа, поэтому эффективность его применения в пристеночном слое лопатки низкая.

В данной работе представлена конструктивная схема лопатки турбины с так называемой «щелевой» схемой охлаждения наиболее её горячей части, вогнутой поверхности профиля (см. Рисунок 1 – Рисунок 4). Поскольку охлаждающий воздух выдувается в пристеночный слой лопатки, эффективность его использования для охлаждения поверхности лопатки максимальна. Недостатком известных конструкции систем плёночного охлаждения лопатки [2; 3], является снижение эффективности охлаждения из-за наличия угла между вдуваемым и основным потоками и возникновением отрыва потока охладителя от поверхности лопатки, вследствие чего он интенсивно перемешивается с потоком горячего газа. Очевидно, что указанные выше недостатки уменьшаются с уменьшением диаметра отверстия через который вдувается охлаждающий воздух [4], однако его минимальный размер определяется возможностями современной технологии, и равен, примерно 0,3мм.

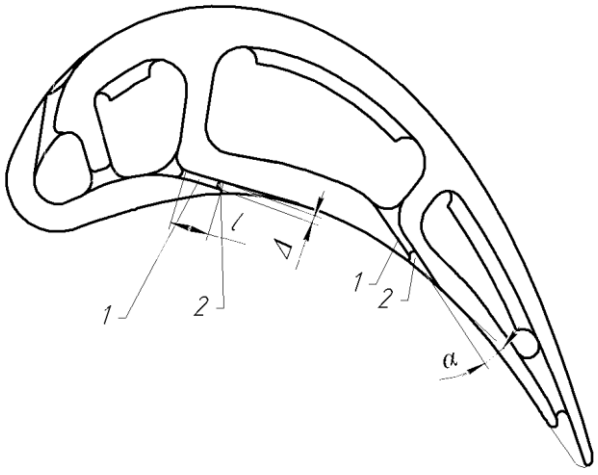


Рис.1 - Пример конструктивной схемы лопатки с щелевым охлаждением (сечение)

В представленной в данной работе лопатке турбины с щелевым охлаждением, в толщине стенки вогнутой поверхности выполнены щелевые каналы 2, плоские или конфузорные в поперечном сечении, располагающиеся касаткльно к стенке наружной поверхности, что обеспечения выдув охладителя в пристеночный слой лопатки. Это обеспечивает минимальное «размытие» и перемешивание струи охладителя потоком горячего газа (см. Рисунок 1 и Рисунок 2). Получено, что наибольшая эффективность охлаждения имеет место, когда перемычки 1, соединяющие прилегающие к щели поверхности лопатки между собой, должны иметь наклон относительно оси двигателя ψ меньше 60 градусов. Выполнение каналов охлаждения в виде щели позволяет достичь равномерного распределения охладителя по корыту лопатки по всей высоте щели и добиться отсутствия затекания горячего потока под струю охладителя а так же предотвращает наличие локальных мест перегрева, присущих дискретным цилиндрическим каналам системы плёночного охлаждения, реализуемых в современных конструкциях лопаток турбин.

В том случае, когда малая толщина стенки профиля и форма его вогнутой поверхности не обеспечивают проектирование щелевого канала минимально необходимой длины, то требуемый размер длины щелевого канала может быть реализован за счёт местного утолщения профиля, как это изображено на рисунке 3.

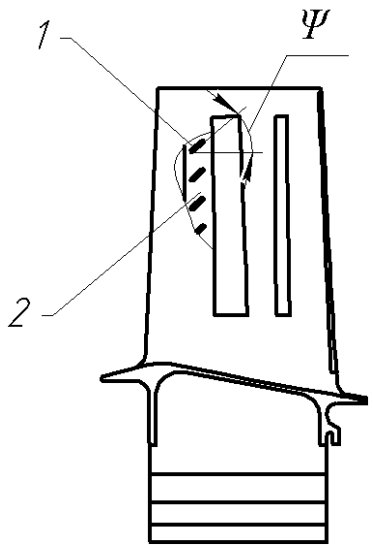


Рис. 2 - Пример конструктивной схемы лопатки с щелевым охлаждением (вид сбоку)

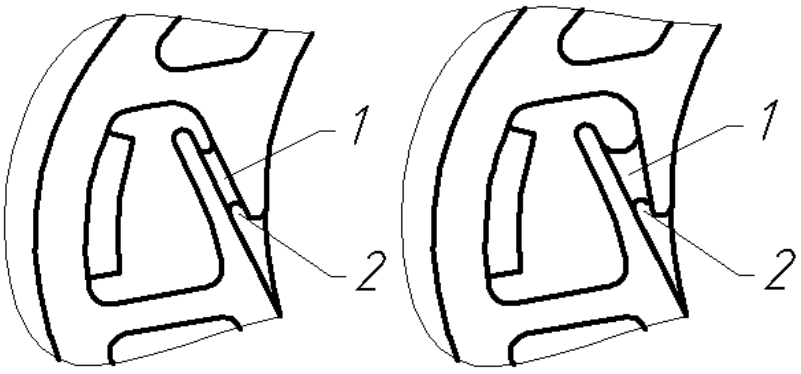


Рис. 3 - Конструкция щели, при недостатке толщины материала стенки лопатки и конструкция щели в виде конфузорного канала

В конструкции щели, представленной на рисунке 3, можно варьировать длину щели, и, соответственно, дальнобойность струи, чего невозможно добиться в каналах охлаждения малой протяжённости. То обстоятельство, что щелевая система охлаждения выполняется при литье, позволяет придавать каналам щелевого охлаждения различную форму: плоскую,

диффузорную, конфузорную и др. На рисунке 3 приведён пример двух форм щели, прямой и конфузорной.

Таким образом, рассмотренная выше конструкция лопатки турбины, обеспечивающая повышение эффективности плёночного (завесного) охлаждения корыта лопатки турбины газотурбинного двигателя, обеспечивает: равномерный выдув охладителя касательно к образующей профиля пера лопатки; минимальное смешение вдуваемых струй охладителя с потоком горячего газа; повышенную дальнобойности спутной струи охладителя, что позволяет выровнять температурное поле вдоль обводов профиля с вогнутой стороны лопатки и, следовательно, снизить величины термических напряжений, вызванных градиентом температур между выпуклой и вогнутой стороной лопатки.

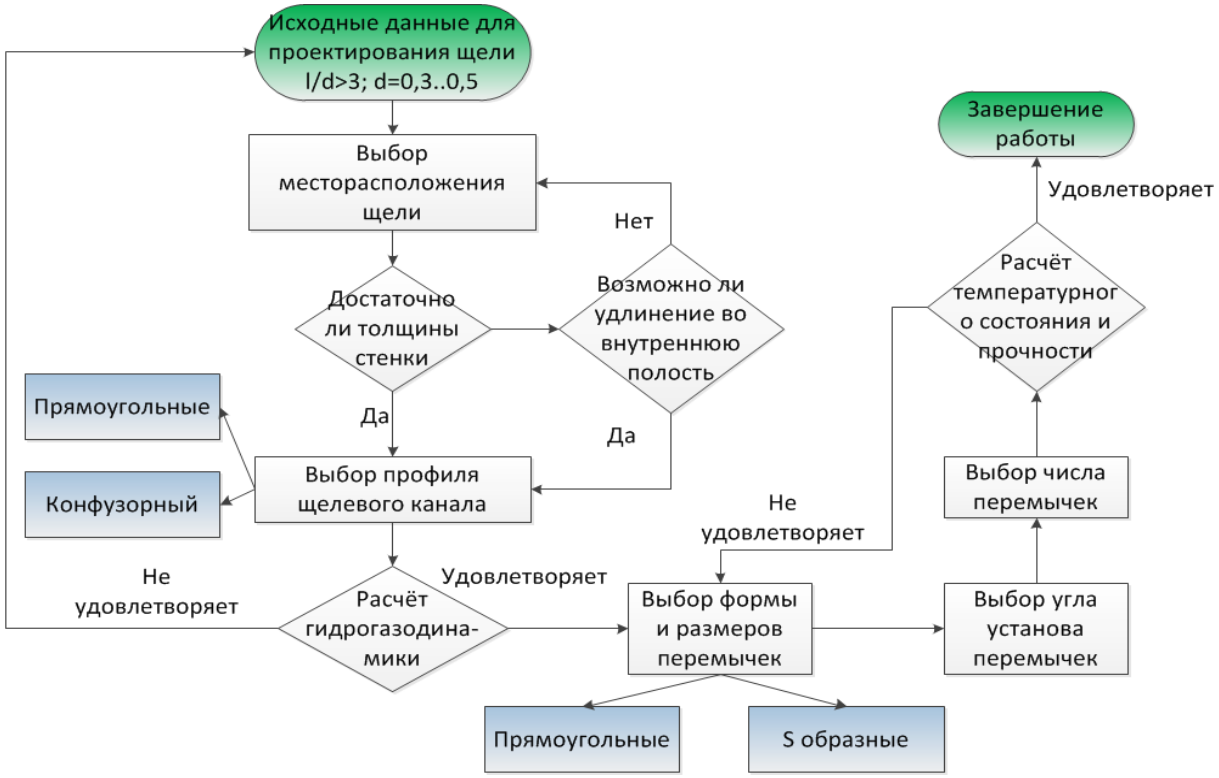


Рис. 4 - Блок-схема методики проектирования щелевого охлаждения

В настоящее время не существует инженерной методики по проектированию и оптимизации конструкции лопатки с «щелевым» охлаждением. На рисунке 4 представлена последовательность выполнения отдельных этапов проектирования лопатки с «щелевым» охлаждением. Методика проектирования состоит в следующем: выбираются исходные данные, отношение длины щели к её ширине l/Δ, в пределах равных 3…5 и ширина щели Δ в диапазоне 0,3…0,5мм. На следующем этапе выбирается место расположения щели на профиле лопатки. Если достаточно толщины стенки лопатки, то мы переходим к параметру выбора профиля щелевого канала. В том случае, если толщины стенки лопатки недостаточно, то мы рассматриваем, возможность удлинение части пера лопатки внутрь профиля (см. рисунок 3). В том случае, когда имеется возможность удлинения части пера лопатки внутрь профиля, выбирается оптимальная форма и протяжённость щелевого канала. Если это невозможно, то возвращаемся к этапу выбора места расположения щели.

Следующим шагом является выбор формы профиля щелевого канала. В принципе, возможен выбор трёх видов профилей: это щель прямоугольного сечения, конфузорная или дифузорная щель.

После выбора профиля щелевого канала, должен быть проведён газодинамический расчёт течения газа в межлопаточном канале и расчёт теплового состояния лопатки, для того чтобы оценить насколько правильно выбрано местоположение щели на профиле. Если учесть, что

установка перемычек только ухудшает тепловое состояние лопатки, то на данном этапе необходимо наиболее оптимально расположить щель пока что без учёта перемычек. После того как выбрано оптимальное местоположение щели, рассматриваем целесообразную форму и размер перемычек. Перемычки могут быть как прямоугольные, так и «S» образные. В принципе, прямоугольные и «S» образные перемычки, в настоящее время, применяются на имеющихся лопатках на выходной кромке [3].

После выбора формы и размеров перемычек, выбирается угол установа перемычек. В результате предварительных исследований было установлено, что оптимальный размер этого угла составляет $15\text{-}20^0$ относительно оси лопатки.

На последующем этапе выбирается число перемычек и выполняется расчёт теплового и прочностного состояния лопатки. Если полученный результат не удовлетворителен, то возвращаемся к этапу выбора формы и размеров перемычек и корректируем исходные данные. Если получен удовлетворительный результат, то проектная работа по оптимизации каналов плёночного охлаждения завершена.

Список литературы

1. *Галицейский, Б.М. Совершённый, В.Д. Формалёв В.Ф., Чёрный М.С.* Тепловая защита лопаток турбин. Москва: МАИ, 1996.
2. *Иванов В.Л. и др.* Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок / под ред. А.И. Леонтьва. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
3. *Матушкин А.А., Нестеренко В.Г.* Конструктивные методы совершенствования системы пленочного охлаждения рабочих лопаток турбин ВРД // электронный журнал “Труды МАИ”. 2010. Т. 39.
4. *Матушкин А.А., Нестеренко В.Г.* Исследование системы каналов пленочного охлаждения лопаток высокотемпературных турбин авиационных ГТД // Инновации в авиации и космонавтике 2010. 2010. С. 37.

05.07.03

[1]Е.В. Митряйкина, [2]Т.А. Зайцева

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет им А.Н. Туполева – КАИ, кафедра теоретической и прикладной механики,
Казань, kati_mit@mail.ru

[2]Казанский национальный исследовательский технический университет им А.Н. Туполева – КАИ, кафедра основ конструирования,
Казань, tanechkaGA@mail.ru

ВНЕДРЕНИЕ СПИРАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ПУТЁМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ

В работе представлено комплексное исследование пористости композиционного материала. Применена рентгеновская компьютерная томография, для определения внутренней структуры материала. Представлена связь между структурой материала и его механическими характеристиками.

Ключевые слова: *пористость, композиционный материал рентгеновская компьютерная томография.*

В настоящее время при проектировании конструкций, работающих в экстремальных условиях с жёсткими весовыми ограничениями, широкое распространение получили различные типы композитных материалов. Они имеют существенное преимущество перед традиционными материалами. Особенностью композитных материалов является то, что из них могут быть созданы элементы изделий с заранее заданными свойствами, наиболее полно отвечающими характеру и условиями работы детали и конструкции. При этом формирование материала и детали происходит одновременно.

Создание конструкционных материалов с заданными механическими свойствами, прогнозирование их прочностных характеристик, определение исходного и остаточного ресурсов конструкции, и причин их разрушения невозможно без глубокого изучения структуры материалов, динамики изменения структурных параметров в процессе эксплуатации.

Проблема диагностики композитов по фактическому состоянию является весьма актуальной, поскольку дефекты структуры, возникающие в ходе эксплуатации изделий, могут существенно уменьшить прочность материала. Основным усталостным повреждением структуры является отслоение волокон наполнителя от эпоксидной основы (матрицы), что проявляется, в частности, в увеличении объемной пористости материала.

Следует, однако, отметить, что количественная оценка дефектности структуры стеклопластика весьма затруднительна (в особенности при диагностике изделия в сборе) с применением неразрушающих методов оценки. Практически единственным в настоящее время видом количественного контроля дефектности структуры стеклопластика является лабораторная оценка его пористости.

Пористость стеклопластиков зависит от метода формования и от количества летучих продуктов, выделяющихся при отвердевании связующего.

Самой распространенной причиной образования пустот является неспособность смолы вытеснить весь воздух, захваченный пряжей, когда она проходит через пропиточную машину. Степень вытеснения воздуха зависит от скорости, с которой наполнитель проходит через смолу, вязкости смолы, величины краевого угла между смолой и поверхностью наполнителя и механической обработки наполнителя.

Также пустоты создаются пузырьками захваченного смолой воздуха, попадающими в стеклопластик и остающимися в нем, или растворенными летучими компонентами, которые не удалось полностью удалить при пропитке, и которые выделяются при отвердевании, проводимом при повышенных температурах. При опрессовке пакета содержание связующего в середине (внутри) пакета больше, чем снаружи.

Объемное содержание пор в стеклопластике $V_П$ может меняться от 1% до 26% в зависимости от технологических факторов. Пористость влияет на прочностные свойства композиционных материалов, поэтому её определение является актуальной задачей.

Авторами проведено комплексное исследование пористости образцов углепластика КМКУ3.150 на основе углеводородного наполнителя УТ-900 (УОЛ) и связующего УП-2227. Исследования проводились методом спиральной компьютерной томографии.

Пористость композиционного материала можно определить гравиметрическим методом по формуле [1]:

$$V_П = \left[\frac{100}{\rho_{пл}} - \left(\frac{V_{св}^{м}}{\rho_{св}} + \frac{100 - V_{св}^{м}}{\rho_{н}} \right) \right] \cdot \rho_{пл},$$

где $V_П$ – пористость (%); $V_{св}^{м}$ - массовое процентное содержание (%); $\rho_{пл}$ - средняя плотность композиционного материала (г/см^3); $\rho_{ñâ}$- плотность связующего; ρ_i - плотность наполнителя. Значения плотности связующего и наполнителя представлены в паспортных данных. По результатам исследования образцов методом выжигания связующего значения пористости совпали со средними значениями плотности, полученными методом металлографического анализа. Этот метод не позволяет определить пористость в различных местах конструкции неразрушающим методом

Количественная оценка плотности материала с помощью компьютерного томографа основана на разнице в поглощении рентгеновского излучения различными материалами, которые имеют собственные коэффициенты абсорбции (КА).

Для измерения плотности материала используются условные EMI – ЕД. Фирмой “Ohio Nuclear” предложена система отчета, в которой приняты единицы Hounsfield – ед. Н. Оценка колебания КА в этой системе проводится в диапазоне ± 1000 ед. Н, за нулевой уровень принята плотность воды. Соответственно плотность воздуха - -1000 ед. Н. Усредненные значения плотностей для композиционных материалов и резины в известной нам литературе отсутствуют. Пробные эксперименты показали, что плотность углепластика находится в диапазоне 200 - 450 ед. Н [2].

Становится актуальным установить зависимость между КА материала, полученного с помощью компьютерной томографии, с пористостью, определённой другими методами.

Плотность композиционного материала определяется путём отношения массы к объёму образца «свидетеля». Процентное содержание связующего определялось путём выжигания связующего из образца. На спиральном компьютерном томографе было исследовано 10 образцов. На рис. 1 приведена томограмма одного из образцов и график распределения коэффициентов ослабления по выбранному направлению.

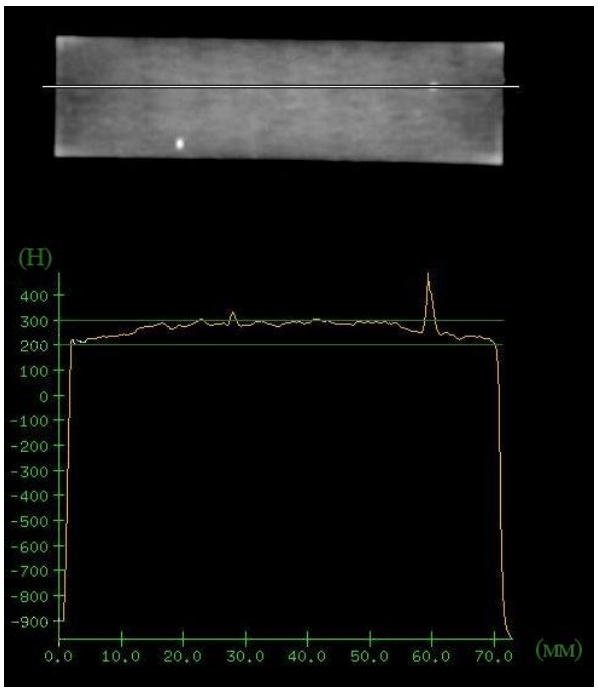


Рис. 1 Томограмма образца углепластика и график распределения коэффициентов ослабления по выбранному направлению

По результатам этих исследований установлена зависимость коэффициентов ослабления от плотности исследуемого материала, приведенная на рис. 2. Используя эту зависимость, можно, проводя томографическое исследование всей конструкции, на любом участке определить плотность и соответственно найти пористость.

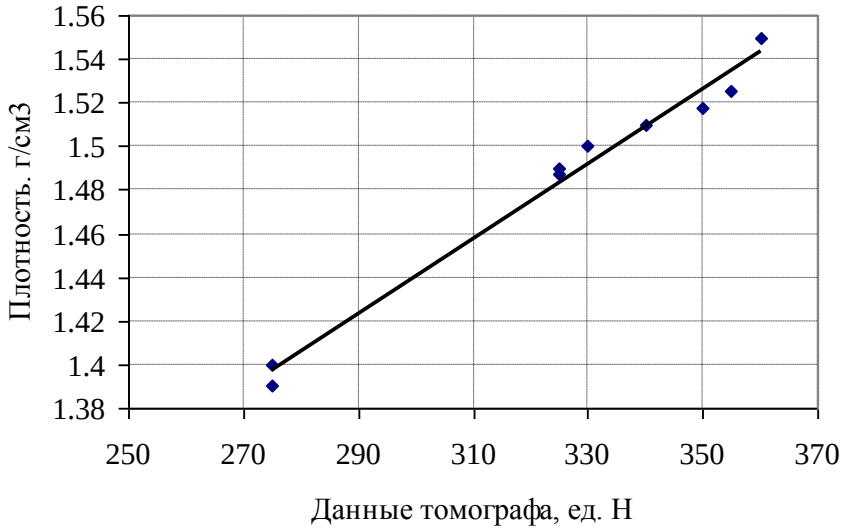


Рис.2 Плотность и соответствующие коэффициенты ослабления (усредненные)

Для подтверждение результатов нахождения пористости этим методом проведены дополнительные исследования этих образцов методом металлографии. Металлографический анализ проводился на микроскопе Axiovert 200 MAT с последующей обработкой изображения на компьютере с помощью программы Axio Vision. Для анализа изображения микроструктуры материала делается серия снимков исследуемой зоны. Обрабатываются изображения одинаковых размеров, что сводит к минимуму систематическую ошибку измерений. На снимках выделяются зоны пустот (пор), с помощью программного обеспечения определялась их суммарная площадь, далее вычислялся процент пор от общей

площади образца на снимке. Исследование показало концентрацию пор у края образцов. Выявлены посторонние включения.

Результаты сравнения пористости, определённые двумя методами, показали большую сходимость, разница не превышает 7%.

Таким образом, появляется возможность путём количественной оценки внутренней структуры материала с помощью компьютерного томографа определить плотность, пористость исследуемого материала и прогнозировать его механические параметры.

Список литературы

1. *Потапов А.И.* Контроль качества и прогнозирование надёжности конструкций из композиционных материалов. – Ленинград: «Машиностроение» Ленинградское отделение 1980 – 259 с.

2. *Митряйкин В.И*. Неразрушающий контроль деталей машин компьютерным томографом. – Казань: КВВКУ, 2009. -144 с.

05.23.01

Н.Я. Михалев к.т.н.

Московский государственный строительный университет (МГСУ),
кафедра Металлические конструкции,
г. Москва, mihalevn@list.ru

О СОХРАНЕНИИ УНИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ПОКРЫТИЯ ГЛАВПОЧТАМТА В Г. МОСКВЕ

В статье приводятся некоторые сведения о состоянии металлических конструкций здания Главпочтамта в г. Москве, одним из авторов которого был выдающийся российский инженер Шухов В.Г. В текущем году отмечается 100-летний юбилей с начала эксплуатации здания. По результатам обследования выявлены традиционные для подобных конструкций дефекты и повреждения. Для обеспечения сохранности уникальных конструкций исторического здания Главпочтамта рекомендуется наладить постоянный мониторинг их технического состояния и разработать специальные мероприятия для защиты конструкций от прогрессирующего разрушения.

Ключевые слова: *Металлические конструкции, Долговечность конструкции, Надежность, Поверхностная коррозия.*

Здание почтамта на Мясницкой улице в г. Москве построено в 1912 году по проекту известных российских инженеров и архитекторов. Одной из особенностей этого здания являются стальные конструкции светопрозрачного покрытия операционного зала, автором которых был выдающийся российский инженер В.Г.Шухов. Начало двадцатого столетия это время становления и массового применения металлических конструкций в зданиях и сооружениях различного назначения. В.Г. Шухов и его школа внесли огромный вклад в развитие металлических конструкций в России. Конструкции Шухова для его времени были решениями нового типа, они обладали удивительной легкостью, простотой и элегантностью, их необычайно смелые формы производят на очевидцев благоприятные впечатления. В 2013 году исполнится 160 лет со дня рождения автора уникальных конструкций Главпочтамта. В преддверии этой знаменательной даты уместно ещё раз обратить внимание на творческое наследие В.Г. Шухова.

Ретроспективный взгляд на результаты творчества В.Г. Шухова дает представление о нем как гениальном профессионале с широкой эрудицией, тонким вкусом и технической интуицией. Простой перечень уникальных строительных объектов, в которых имя В.Г. Шухова занимает главенствующую роль, без преувеличения весьма значителен. Его проекты и реализованные объекты поражают своей глубиной и обоснованностью технических решений. Он непосредственно занимался проектированием, сопровождал процессы изготовления и монтажа металлоконструкций. Наряду с фундаментальными научными работами он делает множество открытий и изобретений в смежных областях техники.

В ряду интереснейших творений В.Г. Шухова особое место занимают металлические конструкции здания Московского почтамта (Главпочтамта). За внешне простой конструктивной схемой покрытия (фонаря) операционного зала просматривается глубокая проработка и обоснованность решений, обеспечивших покрытию необходимую функциональность, а по восприятию конструкций в интерьере зала создается впечатление их легкости и архитектурной выразительности. Наличие по архитектурным и эксплуатационным требованиям фонаря с двухуровневым остеклением создавало определенные технические трудности, которые автором проекта были успешно преодолены.

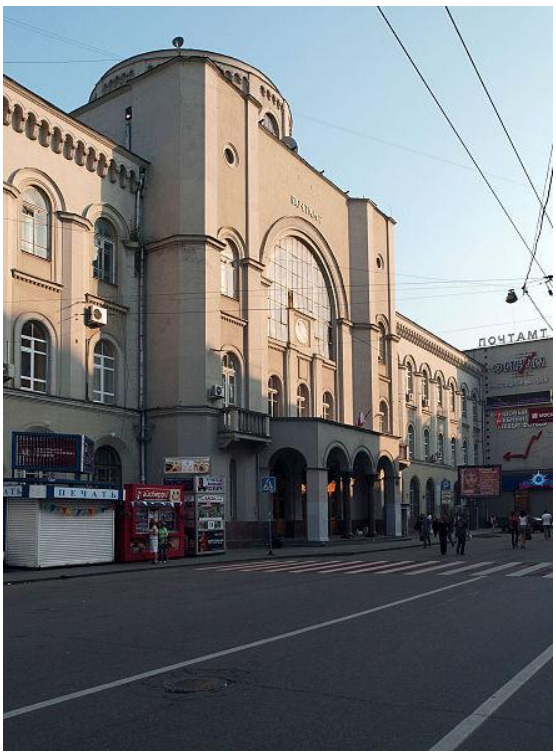


Рис.1. Фрагмент фасада

Несущими конструкциями покрытия являются сквозные металлические арки треугольного очертания с высоко расположенными затяжками. Пролет арок 28,5 *м*, шаг 9,25 *м*, высота арок 13,8 *м*. Пространственная работа конструкций покрытия обеспечивается совместной работой треугольных арок (поперечное направление) и продольных решетчатых рам, имеющих переменную высоту в зависимости от их расположения на плане. Элементы арок выполнены из уголков от 45х5 до 120х12.

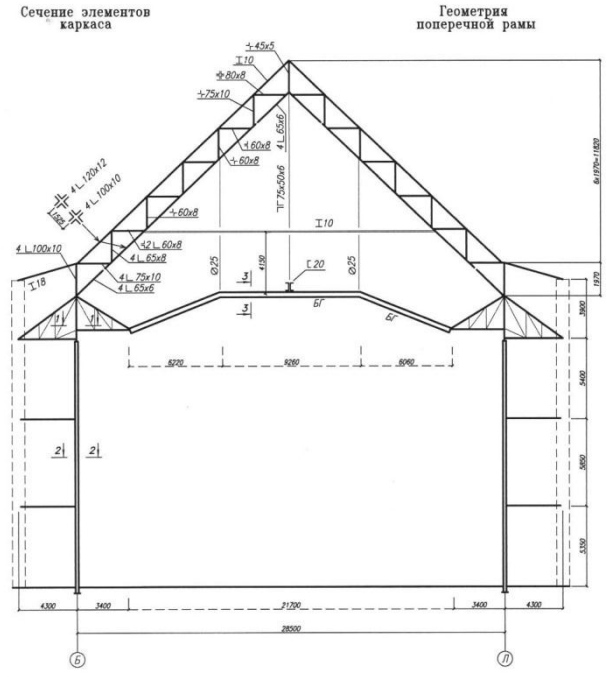


Рис.2. Поперечная рама каркаса

Нижний фонарь представляет собой балочную конструкцию с системой подвесок её к основным несущим конструкциям покрытия. Балки продольного и поперечного направлений

имеют коробчатое сечение 400х400 *мм*, состоящее из угловых элементов (уголковый прокат 45х5) и боковых стенок из стальных листов толщиной 2 *мм*. В верхней плоскости сечения отдельных балок вместо стального листа установлена раскосная решетка из одиночных уголков 45х5. Часть продольных балок имеют усиление по верхней их грани двумя швеллерами №20. Все соединения в балках заклепочные. Конструкции нижнего фонаря поддерживаются системой подвесок, которые крепятся к конструкциям верхнего фонаря. Подвески состоят из парных стальных уголков 75х50х6, а также из стальных стержней диаметром 25 *мм*.

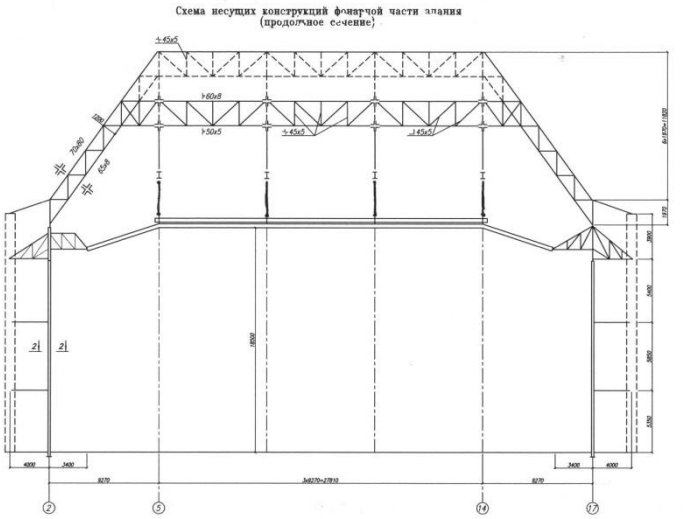


Рис.3. Продольная рама каркаса

Проводившиеся в разное время многими организациями обследования здания Главпочтамта с определенным постоянством выявляют целый ряд отклонений от условий нормального состояния конструкций, которые в разной степени могут оказывать влияние на их надежность и долговечность. Аналогичные результаты получены в работе Московского государственного строительного университета. Основные результаты обследований сводятся к некоторым стандартным для подобных конструкций выявленным проблемам.

В конструкциях верхнего фонаря обнаружены искривления элементов решетки слабо нагруженных связевых ферм. Стрела прогиба до 40 ÷ 50 *мм*. Элементы из одиночных уголков 45х5 имеют повышенную гибкость в сравнении с требованиями современных норм проектирования. Эти дефекты характерны для отдельных элементов решетки и опорных стоек ригелей несущих рам.

Выявлены обширные участки поверхностной коррозии элементов несущих и связевых ферм. Зафиксированы участки с полностью разрушенным лакокрасочным покрытием. В некоторых узлах ферм с крестовыми сечениями из уголков имеется локальная щелевая коррозия. При этом потеря площади сечения уголков оценивается до 10%. Существенные коррозионные разрушения имеют стальные переплеты остекления верхнего фонаря и элементы их крепления к прогонам. Состояние конструктивных элементов светопрозрачного покрытия оценивается как удовлетворительное, требующее незамедлительных профилактических мероприятий.

По результатам механических испытаний и химических анализов стали элементов фонаря, отобранных по стандартной методике, выявлено следующее [1]:

- материал конструкций фонаря соответствует стали С235 по ГОСТ 27772-88, близкий к аналогу стали марки Вст3кп ГОСТ 380-71*;
- расчетное сопротивление стали для проверочных расчетов принято Ry = 170 *МПА*.

На основании полученных характеристик сталей при выполнении ремонтных работ возможно применение сварки с использованием качественных электродов типа Э42А.

По результатам прочностного расчета металлических конструкций покрытия фонарной части здания Главпочтамта, выполненного по рекомендациям ЦНИИПСК [2], максимальные

напряжения в элементах верхнего фонаря в бездефектном состоянии не превышают значений ~ 70% от их несущей способности. С учетом выявленных искривлений и погнутостей стержней этот показатель близок к предельному состоянию.

Элементы нижнего фонаря, работающие, в основном, на изгиб, имеют показатель напряженного состояния в главных балках ~ 0,25Ry, во второстепенных балках ~ 0,16Ry. Напряжения в консольных фермах нижнего фонаря с учетом коррозионного износа составляют (0,5 ÷ 0,65)Ry.

Для повышения надежности и долговечности конструкций фонарной части здания Главпочтамта рекомендовано следующее:

– выполнить типовые мероприятия по защите конструкций от коррозии;

– снизить нагрузки на покрытие за счёт замены существующего остекления на органическое стекло с меньшей объемной массой;

– при выполнении ремонтных работ фонарных покрытий на отдельных участках возможно, в виде исключения, применение сварки качественными электродами типа Э42А.

При замене поврежденных стальных переплетов фонарей допустимо осуществлять крепление на болтах, используя для установки элементов имеющиеся отверстия в фермах и прогонах.

Предпринимаемые эксплуатационными службами усилия по нейтрализации негативных процессов в конструкциях металлического каркаса здания Главпочтамта, как правило, не дает желаемого результата в связи с тем, что их реализация сводится к набору общепринятых в таких случаях мероприятий, без должного учета уникальности конструкций и их исторической значимости. Нельзя сказать, что сооружениям В.Г. Шухова не уделяется достаточного внимания со стороны эксплуатационных служб. Конструкции здания Главпочтамта за последние 20 ÷ 25 лет обследовались с определенной регулярностью. Однако, для подобных уникальных конструкций, срок службы которых исчисляется сотней лет, необходимо наладить постоянный и эффективный мониторинг их технического состояния. Под эффективностью, в частности, следует понимать оперативное принятие необходимых мер для устранения причин, вызывающих, например, коррозию. Эти причины, как правило, связаны с появлением в процессе эксплуатации протечек в кровле, или с созданием повышенной влажности в эксплуатируемом объеме вследствие нарушений в режиме эксплуатации здания.

В техническом отношении обслуживание уникальных зданий значительно сложнее, так как за ними требуется специальный длительный уход и контроль. Без специальной программы их сохранения инженерные сооружения В.Г. Шухова могут исчезнуть естественным образом. Результаты многочисленных обследований и практика эксплуатации зданий с металлическими конструкциями свидетельствуют об опасности такого развития событий. Поэтому задача сохранения уникальных творений В.Г.Шухова, в широком смысле, требует незамедлительных организационных и технических решений.

Список литературы

1. *Гроздов В.Т.* Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. СПб, — Изд.Дом KN+,2000.

2. Металлические конструкции. Справочник проектировщика: том 3, под ред. В.В. Кузнецова. — М. : Изд-во АСВ, 1999.

05.23.17

Ж.Г. Могилюк к.т.н., М.С. Хлыстунов к.т.н.

Московский государственный строительный университет,
Научно-исследовательский институт экспериментальной механики,
кафедра прикладной механики и математики, mcxmgsu@mail.ru

ФОРМЫ КОЛЕБАНИЙ КОНСОЛИ НА ГАРМОНИКАХ ПРОДОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА

В статье на базе закономерностей возбуждения продольных акустических резонансов исследуется механизм распространения и распределения энергии динамических нагрузок в линейных стержневых конструкциях.

Ключевые слова: *стержневые конструкции, динамические нагрузки, основной резонанс, гармоники, частотные характеристики*.

Развитие теории и методов математического моделирования резонансных явлений распределения динамических нагрузок в строительных конструкциях является актуальной задачей современной строительной механики.

Это связано с тем, что динамические перемещения и напряжения в пространстве строительной конструкции могут существенно отличаться по фазе от динамической нагрузки [1-7]. При возбуждении резонансов и антирезонансов интенсивность локальных динамических напряжений и деформаций на элементах конструкций может существенно превышать аналогичные значения при статических нагрузках.

Рассмотрим схему динамического нагружения и закачки продольной акустической волны в консольно закрепленный стержень на рис.1.

В качестве первого шага в предыдущих статьях авторов [2,3] были рассмотрены основная продольная мода резонансных колебаний стержня с частотой $f_o=f_1$ и ее нечетные гармоники на эквивалентной схеме в виде пружинного маятника с эквивалентной акустической жесткостью $k_д$, и массой $m_д$.

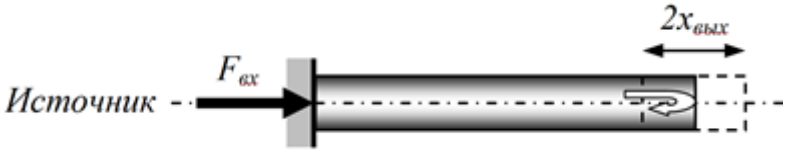


Рис.1- Схема динамического нагружения консоли

Амплитудно-фазо-частотная характеристика (АФЧХ) в окрестности основной продольной моды резонансных колебаний стержня может быть представлена в виде комплексной функции [2]:

$$K(\bar{f}) = \frac{K_o(1-\bar{f}^2)}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1} - j\frac{2K_o\xi\bar{f}}{\bar{f}^4+(4\xi^2-2)\bar{f}^2+1}, \quad (1)$$

где

$$\bar{f} = \frac{f}{f_1}, \quad (2)$$

В окрестности основной и каждой из высших гармоник резонанса выражение для АФЧХ можно представить в виде комплексной функции:

$$K_n(\bar{f}_n) = \frac{K_{on}(1-\bar{f}_n^2)}{\bar{f}_n^4 + (4\xi_n^2 - 2)\bar{f}_n^2 + 1} - j\frac{2K_{on}\xi_n \bar{f}_n}{\bar{f}_n^4 + (4\xi_n^2 - 2)\bar{f}_n^2 + 1}, \quad (3)$$

или

$$K_n(\bar{f}_n) = P_n(\bar{f}_n) - jR_n(\bar{f}_n), \quad (4)$$

где $$f_n = nf_1 = \frac{n}{4L}\sqrt{\frac{E_\partial}{\rho}}, \ n = 1,3,5,\ldots,(2n+1),\ldots \quad (5)$$

Модуль АФЧХ (3) или АЧХ можно представить в виде выражения:

$$\left|K_n(\bar{f}_n)\right| = \left|\frac{K_{on}}{\sqrt{\bar{f}_n^4 + (4\xi_n^2 - 2)\bar{f}_n^2 + 1}}\right|. \quad (6)$$

Однако кроме амплитуды или интенсивности важно учитывать отставание (запаздывание) по фазе динамических деформаций стержня от фазы, собственно, самой, вызывающей эти деформации динамической нагрузки (см. рис.3).

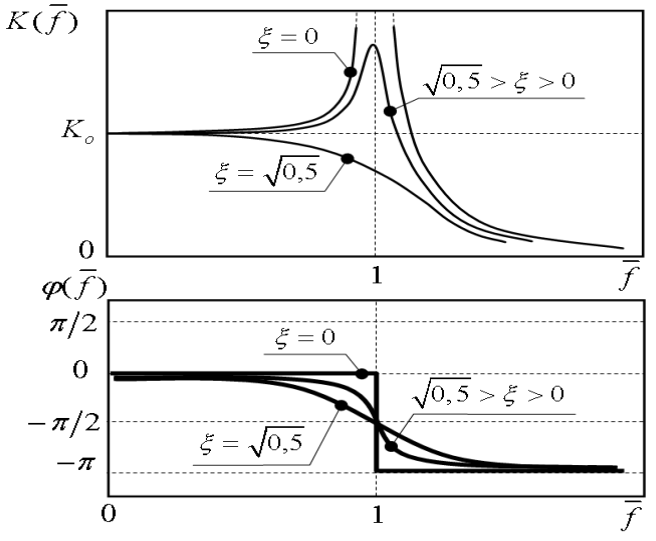


Рис. 2- Графики модуля АФЧХ (6) и ФЧХ (7) в окрестности частоты основного резонанса продольной акустической волны

Учет фазы запаздывания принято отображать в виде фазово-частотной характеристики (ФЧХ) стержня, которая определяется положением вектора комплексной АФЧХ (3,4) на комплексной плоскости или в полярной системе координат. В общепринятом виде запаздывание по фазе рассчитывается как тангенс угла наклона вектора АФЧХ к вещественной оси:

$$\varphi_n(\bar{f}_n) = arctg\frac{R_n(\bar{f}_n)}{P_n(\bar{f}_n)}. \quad (7)$$

Графики зависимости модуля АФЧХ (АЧХ) и ФЧХ от нормированной частоты в окрестности основного резонанса на рис.2 позволяют сделать вывод, что на частотах динамической нагрузки, близких к нулю, знаки нагрузки и результирующей деформации совпадают, а запаздывание по фазе растет по мере приближения к резонансной частоте, принимая на этой частоте значение -π/2. По мере роста частоты нагрузки и ее удаления от

резонансной знаки нагрузки и результирующих перемещений свободного конца стержня становятся противоположными.

Графики модуля АФЧХ (АЧХ) и ФЧХ стержня, например, при возбуждении основного продольного резонанса, его третьей и пятой гармоник (см. рис.3), позволяют наглядно представить характер изменения запаздывания реакции стержня на динамическую нагрузку по мере роста частоты в окрестности этих гармоник.

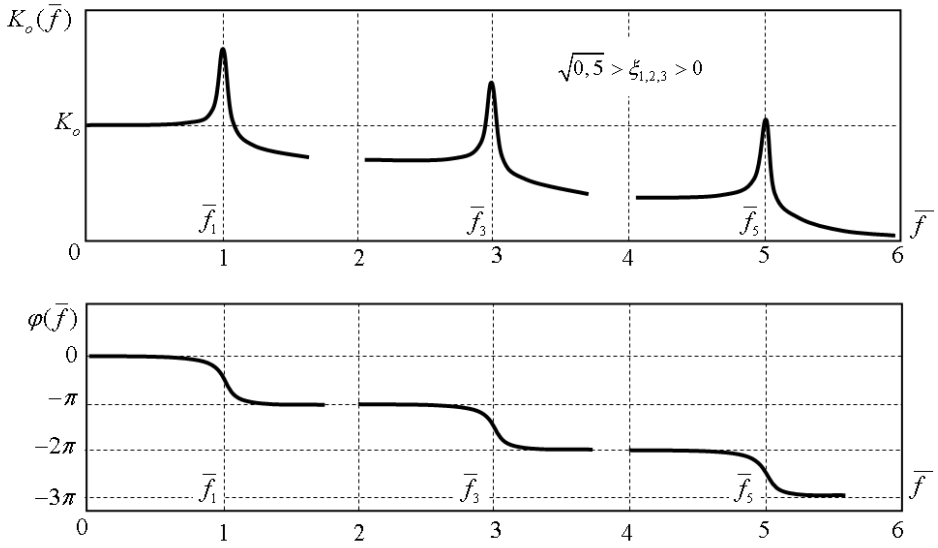


Рис. 3- Графики модуля АФЧХ (АЧХ) и ФЧХ стержня в окрестности частот основного продольного резонанса, его третьей и пятой гармоник

Кривые модуля АФЧХ (АЧХ) и ФЧХ стержня на рис.3 иллюстрируют закономерность резкого роста запаздывания на -180^o ($-\pi$) после повышения частоты динамической нагрузки и пересечения ею значений частот основного резонанса и его гармоник.

Однако в рассмотренных АЧХ и ФЧХ не учитывались антирезонансы стержня, которые существенно повлияют на график ФЧХ и оценку минимальных значений модуля АФЧХ (АЧХ) и будут более подробно рассмотрены в следующей статье авторов.

Список литературы

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. –М.: Наука, 1973, 343 с.
2. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Возбуждение основного акустического резонанса в консольном стержне при динамических нагрузках.// Научно-технический вестник Поволжья, №5, 2012 с.363-368
3. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Возбуждение гармоник продольного резонанса в консольном стержне при динамических нагрузках.// Научно-технический вестник Поволжья, №5, 2012 с. 357-362
4. *Скучик Е.* Простые и сложные колебательные системы. –М.: МИР, 1971, 558с.
5. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. –М.: Наука, 1967, 444с.
6. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Геоэкологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях., - М.: ВНИИНТПИ, Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», №3, 2003, с.16
7. Ультразвук. Под ред. *И.П.Галямина.* –М.: Советская энциклопедия, 1979, 400 с.

05.12.13

О.Г. Морозов д.т.н., Д.И. Касимова, А.А. Дутов, П.А. Махнев

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра телевидения и мультимедийных систем,
Казань, microoil@mail.ru, dilya_kas@mail.ru

ДВУХЧАСТОТНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ОПТИЧЕСКИХ МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ ВВОДА-ВЫВОДА

Предложен новый метод мониторинга реконфигурируемых оптических мультиплексоров ввода-вывода (ROADM), построенных на основе технологии коммутации спектральных каналов (WSS), заключающийся в их двухчастотном зондировании. Зондирующий сигнал формируется непосредственно в передатчике сети передачи данных (СПД), состоящем из лазера и модулятора Маха-Цендера (ММЦ), в паузе между информационными посылками.

Ключевые слова: *ROADM, WSS, мониторинг, двухчастотный зондирующий сигнал, модулятор Маха – Цендера.*

Введение

Особые сложности в СПД нефтяной промышленности возникают при управлении устройствами телемеханики, поскольку протяженность сетей связи измеряется сотнями, а удаленность датчиков от центра управления десятками километров. Сегодня такие СПД для обеспечения достоверной высокоскоростной передачи данных строятся на основе ROADM. Мониторинг оптического слоя ROADM представляет собой важную задачу для гарантированной динамической маршрутизации трафика по заданному узлу, обеспечения прогнозирования неисправности и восстановления связи за 50 мс [1]. При этом важнейшим вопросом для реализации мониторинга спектральных каналов является правильный выбор параметров зондирующих излучений для достоверного и быстрого выявления персоналом неисправности в сети (обрыв кабеля, выхода из строя компонентов оптической сети, нарушение схемы коммутации).

Технические требования по реализации мониторинга ROADM

Проблемой построения полностью оптических сетей является интеграция технологии спектрального уплотнения каналов WDM и WSS в одном элементе с целью упрощения функциональной схемы и снижения вносимого затухания. Соответствующей технологией по требованиям пропускной способности является использование ROADM. Устройство воплощает в себе обе указанные технологии. На любом узле сети использование ROADM позволит удаленно конфигурировать передачу сигнала на требуемый выходной порт (без прерывания данных), осуществлять сбор и обработку информации, например, со скважин.

Каждый спектральный канал в реконфигурируемой сети характеризуется следующими параметрами: сдвигом центральной длины волны по отношению к стандартной по сетке СПД, распределением мощности, отношением сигнал-шум (OSNR). По полученным в ходе мониторинга параметрам можно проводить поканальный частотный анализ, сокращать время поиска и устранять неисправности.

Были проанализированы существующие методы мониторинга ROADM [1] и определены такие недостатки, как: малые мощность и соотношение сигнал-шум OSNR, отведение для анализа сигнала (1–2% от мощности основного сигнала), потери части трафика, использование громоздких систем для оптического спектрального анализа и т.д.

Метод двухчастотного зондирования для мониторинга ROADM

Для определения характеристик спектральных каналов ROADM нами предложен новый принцип мониторинга – метод двухчастотного зондирования, отличающийся как высокой спектральной чистотой и стабильностью при измерении параметров, так и возможностью простой настройки разностной частоты. Система мониторинга строится на основе самой системы связи без встраивания дополнительного слоя мониторинга и без ответвления доли мощности сигнала для анализа, что является достаточно большим преимуществом перед существующими системами мониторинга. На рис.1 показана структурная схема сети мониторинга, основанная на двухчастотном зондировании спектральных каналов ROADM мультиплексора на основе WSS.

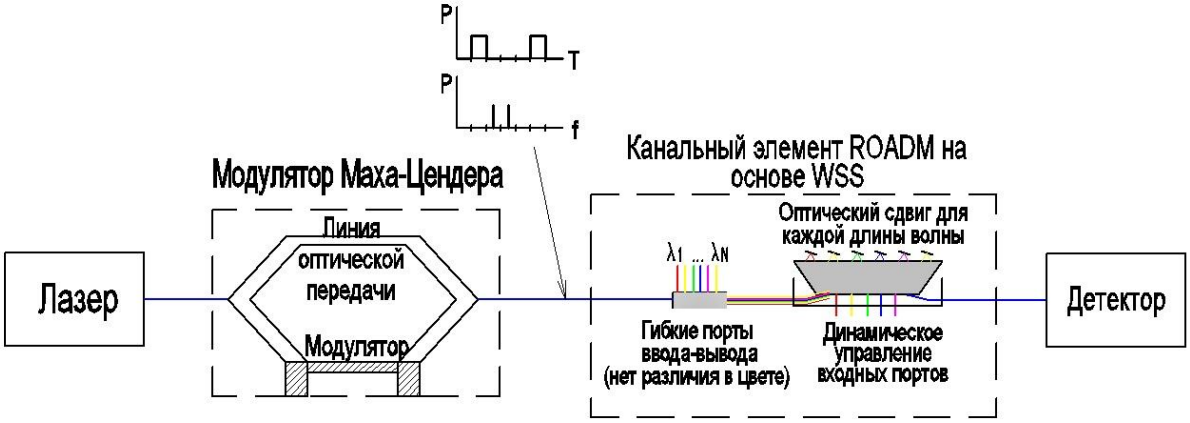


Рис. 1- Структурная схема системы мониторинга методом двухчастотного зондирования ROADM

В определенный момент времени (определяется техническим регламентом) поток передаваемых данных в паузе (рис.1, верхняя часть вставки для сигнала на выходе модулятора Маха-Цендера (ММЦ)) заменяется на двухчастотный сигнал мониторинга (рис.1, нижняя часть вставки для сигнала на выходе ММЦ), с центральной (подавленной) частотой, соответствующей частоте канала, разносом частот на полуширину полосы пропускания спектрального канала WSS и фиксированной мощностью, определяемой мощностью лазера передатчика. В отличие от уже существующих методов мониторинга, при двухчастотном зондировании излучение с длинами волн $\lambda_1 \ldots \lambda_N$ дополнительно модулируется по амплитуде и фазе и представляет собой двухчастотное излучение с подавленной несущей. Для синтеза такого излучения используется устройство формирования двухчастотного лазерного излучения (УФДЛИ). Поскольку требуется обеспечить разнос частот порядка десятков гигагерц, то для мониторинга отдельных каналов используем лучшее по характеристикам устройство – ММЦ (в работе [2] проведен сравнительный анализ основных характеристик существующих УФДЛИ, показана возможность использования ММЦ в качестве УФДЛИ). Получение двухчастотного излучения с подавленной несущей возможно в ММЦ при работе в «нулевой» рабочей точке [2].

Метод двухчастотного зондирования заключается в следующем: обобщенную амплитудно-частотную характеристику спектрального канала ROADM, который зондируется двухчастотным сигналом, определим как $Y(\varepsilon) = 1/\sqrt{1+\varepsilon_{0L}^2}$. Будем считать, что амплитуды составляющих входных колебаний равны, $A_1 = A_2 = 1$, частоты составляющих симметричны относительно средней обобщенной расстройки двухчастотного входного колебания ε0: $\varepsilon_{01} = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon/2$ и $\varepsilon_{02} = \varepsilon_0 - \Delta\varepsilon/2$, где Δε–расстройка между частотами составляющих двухчастотного сигнала. Общее выражение для огибающей выходного двухчастотного сигнала после зондирования контура будет иметь вид (1):

$$U_{\text{вых}} = \sqrt{\begin{matrix} A_1^2 + A_2^2 + \\ + 2A_1A_2\cos\left[\left(\varphi_2 - \varphi_1\right) + \Omega t\right] \end{matrix}}\cos\left\{\omega t + \varphi_0 + arctg\left[\frac{\sin\left[\left(\varphi_2 - \varphi_1\right) + \Omega t\right]}{\frac{A_1}{A_2} + \cos\left[\left(\varphi_2 - \varphi_1\right) + \Omega t\right]}\right]\right\} \quad (1)$$

Следовательно, в момент достижения средней частоты двухчастотного сигнала ω резонансной частоты контура линии, огибающая выходного сигнала по фазе совпадает с огибающей двухчастотного сигнала на входе (рис.2), а коэффициент модуляции огибающей выходного двухчастотного сигнала максимален и равен 1 (рис.3). При использовании данного метода максимальная чувствительность достигается при настройке лазера на центр спектрального канала ROADM, при этом значение расстройки между двумя составляющими равно его полуширине [3].

Рис. 2- Фазовая характеристика

Рис. 3- Амплитудная характеристика

Анализ результатов

Для выявления проблемных ситуаций в СПД в режиме реального времени предложен метод двухчастотного зондирования спектральных каналов, который позволяет осуществлять контроль работоспособности СПД на базе ROADM в целом.

Предложенный метод построения систем мониторинга является, по-нашему мнению, наиболее перспективным среди существующих, поскольку: зондирующее излучение формируется непосредственно в СПД при помощи ММЦ, анализ зондирующих сигналов происходит в паузе между посылкой информационного сигнала, отсутствие потерь мощности информационного сигнала (нет «вырезки» сигнала для анализа), нет необходимости в дополнительном слое мониторинга или в специальном оборудования для спектрального анализа.

На любом узле СПД использование ROADM на основе WSS позволит осуществлять удаленное переключение спектральных каналов и сквозную передачу данных без прерывания действующих услуг (без необходимости выезда технических специалистов на сетевые узлы при перестройке).

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” в рамках соглашения № 14.B37.21.1522.

Список литературы

1. *Вуковиц А., Савой М., Хень Хуа и др.* Мониторинг работы в реальном времени позволяет использовать преимущества реконфигурируемых оптических сетей// Lightwave Russian Edition, 2007. №2. С. 46-48.
2. *Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Садеев Т.С.* Синтез двухчастотного излучения и его применение в волоконно-оптических системах распределенных и мультиплексированных измерений // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Т. 13. № 3. С. 84-91.
3. *Aybatov D.L., Morozov O.G., Natanson O.G., Ilyin G.I., Kalatcheva E.A.* Two-frequency analysis of fiber-optic structures//Optical Technologies for Telecommunications-2005.Proc. SPIE. V.6277 (2006). P. 62770E-1–62770E11.

05.22.07

В.С. Наговицын д.т.н., А.П. Буйносов д.т.н.

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, vsnagovitsyn@yandex.ru, byinosov@mail.ru

СТРУКТУРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье приведена структурная классификация технических средств диагностики тягового подвижного состава. Системы, приборы, устройства контроля и диагностики оборудования представляют совокупность средств разного уровня и назначения, позволяющих решать комплекс различных задач для применения при ремонте узлов и деталей тягового подвижного состава.

Ключевые слова: *тяговый подвижной состав, узел, деталь, диагностика, классификация, структура.*

С учетом современных тенденций развития системы ремонта и принимая во внимание фактическое состояние тягового подвижного состава (ТПС) контрольно-диагностические средства можно классифицировать по выполнению производственно-технических, технологических, программно-аппаратных функций и по принципам измерения диагностических параметров (рис. 1).

Встроенные средства диагностики – дополнительные устройства, подключаемые к действующим агрегатам для контроля состояния ТПС [1] обеспечивают предрейсовый и оперативный контроль состояния деталей ТПС в эксплуатации с отображением информации и предупреждением о предельных режимах нагрузок, регистрацию отклонений параметров; обнаружение отказа, фиксацию случая, выдачу рекомендаций по оперативному выходу из аварийной ситуации [2]. Внешние стационарные средства диагностики – специальные физически автономные системы для углубленного анализа оборудования ТПС, подключающиеся к объектам диагностирования при ремонте [3]. Мобильные диагностические системы предназначаются для выполнения сложных функций по определению состояния и остаточного ресурса систем ТПС, и, как правило, дополняют встроенные или внешние средства диагностики [4].

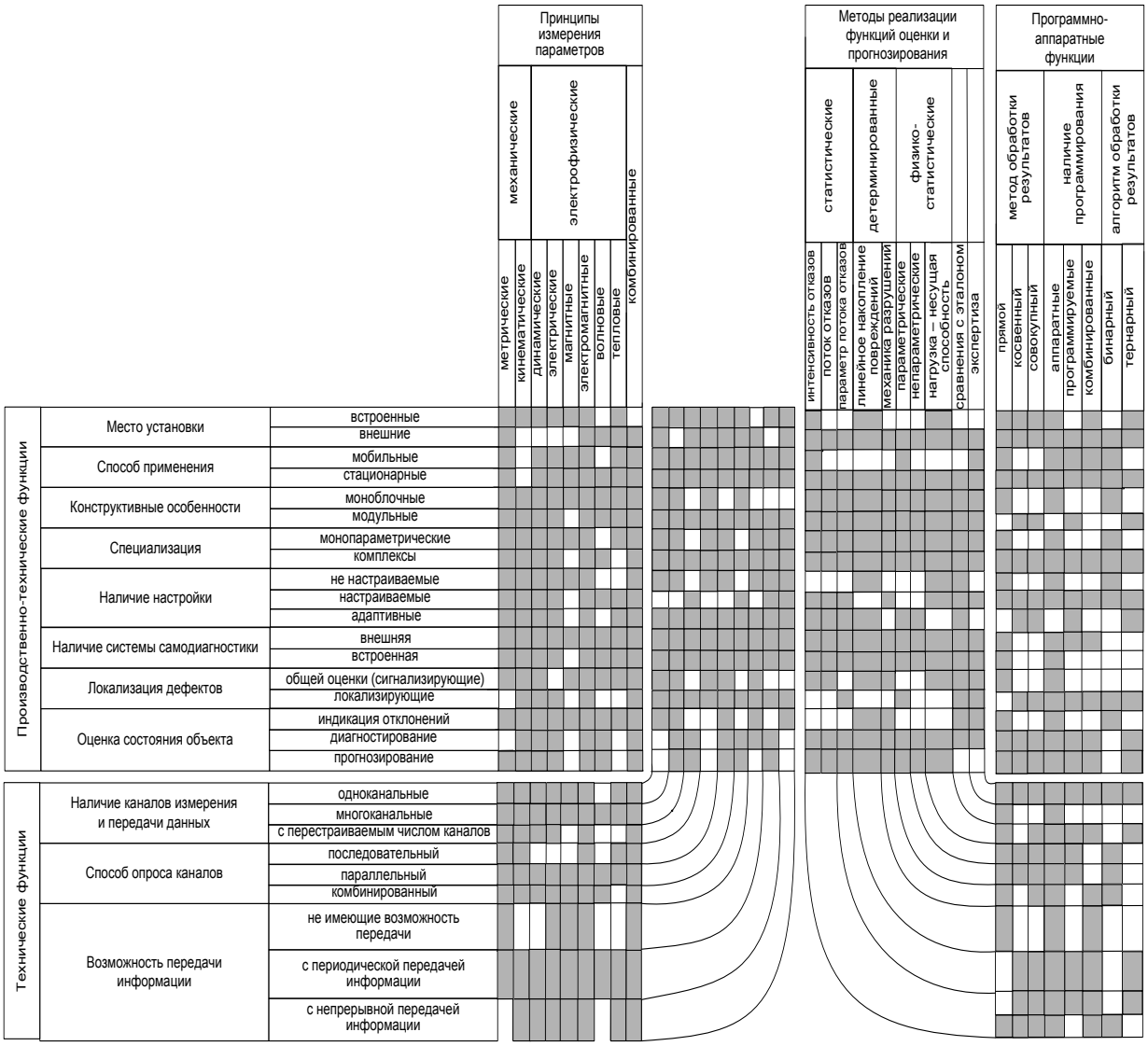


Рис. Классификация средств диагностики тягового подвижного состава

Мобильные системы (портативные, бортовые), в свою очередь, подразделяются на автономные, с внешним включением, с внутренним и комбинированным источником питания. Стационарное оборудование предполагает перемещение ТПС к месту (посту) диагностирования и применяется, как правило, для последующих испытаний с разборкой или без разборки [5].

Важен состав конструкции и программного обеспечения средств диагностики, возможности совершенствования и системного наращивания функций [6]. Моноблочная архитектура диагностического устройства, как правило, связана с уникальностью его функций, алгоритмов работы, программного обеспечения, способа представления результатов [7] и т. д. Это направление проектирования и развития функциональных возможностей имеет перспективы развития [8].

Модульная конструкция предполагает системное наращивание функций и дальнейшее развитие на аппаратном и программном уровнях. Существует набор модулей с единым интерфейсом и общими конструкторскими решениями. Конкретный их состав в устройстве определяется требованиями получения определенных результатов диагностики [9].

Модули могут наращиваться в единый моноблок, а их конкретный набор определяет специализацию и глубину исследования параметров ТПС. Например, диагностическая система для электровоза функционально отличается от аналогичного устройства для тепловоза. Тем не менее, окончательные алгоритмы обработки и принятия решений могут

быть одинаковыми; тогда функциональные модули через мультиплексор подключаются к общему процессорному блоку [10]. Возможно модульное использование программных средств, принятия решения и паспортизации результатов. В этом случае конкретное использование того или иного программного модуля определяется при настройке комплекса [11].

По степени специализации диагностические системы подразделяются на монопараметрические, специализирующиеся на одном классе методов измерения (контроля) и комплексные [12]. Монопараметрические имеют одинаковые типы датчиков, принципы их использования, обработки анализа и вывода результатов независимо от их количества. В комплексах применяются наборы разных типов измерительных приборов и датчиков со своими алгоритмами преобразования и взаимозависимости. В ряде случаев, когда при ремонте ТПС изменяются условия или типы оборудования, возникает необходимость настройки средств контроля и диагностики в ходе работы (настройка пользовательская) [13, 14].

Внешняя система тестирования, контроля и диагностики ТПС предполагает подключение специальных устройств, обеспечивающих проверку систем контрольно-диагностической аппаратуры посредством специального контроллера по заранее определенным алгоритмам для установления собственной работоспособности в соответствии с заявленными техническими требованиями [15]. Встроенная система тестирования перед включением функции контроля и диагностики оборудования ТПС обеспечивает предварительное самотестирование за счет собственных дополнительных элементов, специальных алгоритмов и программных средств [16].

Наиболее информативный класс диагностических приборов – прогнозирующие, которые являются наиболее сложными по исполнению и технологии исследований, поэтому их использование целесообразно только при большом парке диагностируемого оборудования [17, 18]. Прогнозирующие приборы позволяют сделать прогноз в виде определения остаточного ресурса или в виде рекомендаций о времени проведения следующей проверки узла ТПС.

Классификация средств диагностики по технологическим признакам позволяет оценить их с точки зрения выполнения конкретных операций контроля и диагностики [19, 20].

Предлагаемая структурная классификация может служить основой для создания диагностических устройств оборудования ТПС, оптимизации набора комплектующих средств, обеспечения достоверности исследований, сокращения длительности эксперимента, повышения эффективности системы ремонта с применением средств диагностики.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Диагностика низковольтных цепей электровоза // Железнодорожный транспорт. 1996. № 9. С. 36-38.
2. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Как повысить надежность бандажей // Локомотив. 1999. № 7. С. 36-38.
3. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.
4. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. 455 с.
5. *Наговицын В.С.* Совершенствование системы ремонта тягового подвижного состава железных дорог с учетом фактического технического состояния: Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – М., 2006. 250 с.
6. *Наговицын В.С., Буйносов А.П., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С.* Обработка бандажей колесных пар локомотивов составом НИОД // Вестник Российской Академии транспорта. Уральское межрегиональное отделение. 1998. С. 136-138.
7. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
8. *Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С.* Бесконтактное измерение бандажей // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34-36.
9. *Горский А.В., Буйносов А.П., Медведев Н.Ф., Наговицын В.С.* Правильно измеряйте износ бандажей // Локомотив. 1991. № 12. С. 36-37.
10. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
11. *Буйносов А.П.* Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 3 (26). С. 64-68.
12. *Буйносов А.П., Наговицын В.С., Трофимов М.Н.* Оценка качества термической обработки металла неразрушающим методом магнитного контроля // Вестник Академии транспорта Российской Федерации. Уральское межрегиональное отделение. Курган, 1998. С. 132-133.
13. *Горский А.В., Буйносов А.П., Наговицын В.С., Клинский В.С.* Экономичная обточка // Локомотив. 1992. № 4. С. 26-27.
14. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Гребнесмазыватель твердого типа // Локомотив. 1995. № 10. С. 30-31.
15. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Новый гребнесмазыватель на основе графитосодержащего материала // Железнодорожный транспорт. 1996. № 2. С. 39-41.
16. *Буйносов А.П., Наговицын В.С., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С.* Обработка бандажей колесных пар локомотивов составом НИОД // Вестник Академии транспорта Российской Федерации. Уральское межрегиональное отделение. Курган, 1998. С. 136-138.
17. *Буйносов А.П., Наговицын В.С., Боярских Г.С.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.
18. *Буйносов А.П., Кирель Л.А., Наговицын В.С., Янус Ю.Р., Цыпуштанов А.Г., Трофимов М.Н.* Создан прибор неразрушающего магнитного контроля // Локомотив. 2000. № 6. С. 24-25.
19. *Буйносов А.П.* Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4(24). С. 21-25.
20. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 54-58.

05.12.14

В.И. Неволин д.т.н., С.Н. Гергенбергер, М.Б. Меренков

Филиал ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)
в г. Кыштыме, кафедра «Радиотехника»,
г. Кыштым, m.merenkov@yahoo.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБАСТНОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Рассмотрены вопросы обнаружения робастными методами импульсных сигналов с неизвестными параметрами и для условий действия мощных, аддитивных помех. Они включают выполнение по методу робастной нелинейной фильтрации синтез обобщенной базовой схемы адаптивного робастного фильтра для задач робастного обнаружения и идентификации, методику построения многоканальной структуры, а также численное моделирование при обнаружении и идентификации видео- и радиоимпульсных сигналов.

Ключевые слова: *робастный метод, нелинейная фильтрация, численное моделирование, стохастическая автоматическая накачка.*

1.Постановка задачи.

В статье рассматриваются вопросы обнаружения и обработки на фоне достаточно мощных помех нестационарных, финитных сигналов и синтеза робастных обнаружителей [1]-[4], характерная особенность которых состоит в том, что их функционирование характеризуется явлением стохастической автоматической накачки [5] в динамических нелинейных системах.

Решение рассматриваемой в статье проблемы выполняется с помощью разработанного в [1], метода робастной нелинейной фильтрации. Этот метод математически обосновывается на: условно-параметрическом подходе (параметризации) в непараметрических задачах, критерии согласованности, робастном варианте леммы Неймана-Пирсона, а также оптимальном и слабом робастных критериях непараметрического обнаружения. Последний применен при решении непараметрических задач обнаружения (обработки) нестационарных сигналов на фоне произвольных, достаточно мощных помех для синтеза алгоритмов, реализуемых нелинейными операторами. При этом физической основой повышения помехоустойчивости по сравнению с байесовскими методами обработки сигналов, в том числе с неизвестными параметрами, являются параметрические явления в нелинейных динамических системах обработки, когда помехи выполняют функции генератора стохастической автоматической накачки.

Непараметрические обнаружение и идентификацию сигналов на фоне шума могут быть сформулированы Робастные системы обработки импульсных сигналов при стохастической накачке должны иметь сложную структуру [5]. так [2], что наблюдается случайный процесс

$$\xi(t) = z(t)\theta + n(t),\ t \in [0,T],\qquad (1)$$

где $z(t)$ - сигнал с неизвестными параметрами (нестационарный случайный процесс с произвольным распределением (НСППР), но частично заданными статистическими характеристиками), $\theta \in 0,1$ (0 – отсутствие сигнала (простая нулевая гипотеза – H_0) и 1 – его наличие (непараметрически заданная гипотеза – H_1)), а при $\theta = 1$ (1.1) являются задачами идентификации, $\vec{n}(t)$ – широкополосный шум с некоторым распределением, T – интервал наблюдения.

2. Синтез робастных систем

На рис. 1 приведена схема адаптивного робастного полосно-пропускающего фильтра, синтезированная согласно [1], имеющая смысл обобщенной вследствие (1).

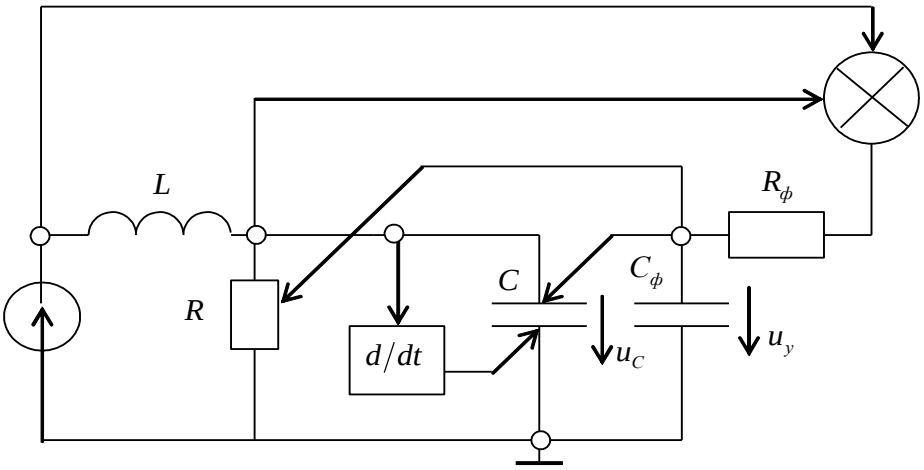


Рис. 1. Обобщенная схема робастного адаптивного фильтра

В простейшем случае такая структура может представлять собой сумматор парциальных каналов, в каждом из которых реализуются робастные алгоритмы с соответствующей канальной настройкой нелинейных параметров. Обнаружения видеоимпульсов на основе обобщенной схемы рис. 1 производится робастными обнаружителями, образованных динамическими системами не ниже 2-го порядка.

3. Моделирование робастного обнаружителя

Для оценки эффективности обнаружителя с робастной системой парциальных каналов [5] проведено статистическое моделирование для видеоимпульса на фоне белого гауссового шума (БГШ). С целью адекватного сопоставления результатов моделирования с согласованной линейной фильтрацией наблюдение (1) предполагалось для известных параметров видеоимпульса с прямоугольной огибающей. В этом случае в системах по рис. 1 будет отсутствовать уравнение по u_y, а зависимость нелинейной емкости – только от фазовой координаты $u_2 = u_C$. Причем эта емкость была принята в виде $C(u_2) = C2 + 20\left[2 + th\left[40(u_2 - U_0)\right] + th\left[40(-U_0 - u_2)\right]\right]$. В эксперименте моделировалась робастная система в составе трех парциальных каналов с различными параметрами U_0. Параметры линейного аналога системы (рис. 1) выбирались из условия реализации квазиоптимальной [4] фильтрации этим аналогом заданного прямоугольного униполярного импульса. Соответственно этим параметрам линейного аналога принимались постоянные параметры нелинейной системы с их последующей вариацией при проведении эксперимента (при опыте принято: U_{01}=0,15, U_{02}=0,2, U_{03}=0,4).

Нелинейные дифференциальные уравнения численно моделировались по методу Рунге-Кутта 4-го порядка. При моделировании были приняты следующие базовые параметры: L=2, $C2$=0,5, R=2, A_0=0,5, $\sigma_{1,2}$=0.35,0.7 – среднеквадратические БГШ при отношениях сигнал/шум в полосе соответствующего согласованного фильтра $g_{1,2}=\sqrt{2E/N_0}=4{,}72;\ 2{,}36$ (E – энергия сигнала, N_0 – интенсивность БГШ) и объеме статистической выборки - 10^5.

Результаты моделирование приведены на рис. 2, 3, где приведены реализации фильтруемых узкополосных случайных процессов в квазиоптимальных линейных и робастных нелинейных фильтрах (рис. 2 – для видеоимпульса, рис. 3 – для радиоимпульса), а также на рис. 4 – рабочие характеристики обнаружения и в таблице вероятностей правильного обнаружения для вероятности ложной тревоги F=0.01(g_1=4,72, g_2=2,36).

Таблица 1. Вероятности правильного обнаружения

	$U_0 1$	$U_0 2$	$U_0 3$	НФ	СФ
g_1	0.92733	0.90276	0.85075	0.9531	0.99158
g_2	0.26671	0.16825	0.27272	0.37887	0.512

Согласно табл. 1 на генеральных совокупностях помехоустойчивости обнаружителей при данной робастной обработке (НФ) и с оптимальной линейной фильтрацией достаточно близки (проигрыш НФ как для g_1, так и g_2 составляет около 1,2 дБ), тогда как в парциальных каналах этот проигрыш более существенен – до 10дБ. Таким образом, робастная парциальная обработка на основе эффекта стохастической накачки реализует сохранение корреляции на сигнальных выборках и декорреляцию на шумовых, обеспечивая этим синфазное суммирование для сигнала и противофазное – для помех. Этим и обеспечивается на генеральной совокупности практически одинаковая помехоустойчивость как при согласованной линейной фильтрации, так и для робастной многоканальной структуры.

Тогда как согласно отмеченному на рис. 2, 3 следует, что для временных реализаций (на малых выборках) в парциальных каналах при робастной обработке также вследствие стохастической накачки имеет место существенное увеличение сигнала по сравнению с квазиоптимальной линейной фильтрацией (до 4–10дБ – для видеоимпульсов и более 20дБ – для радиоимпульсов).

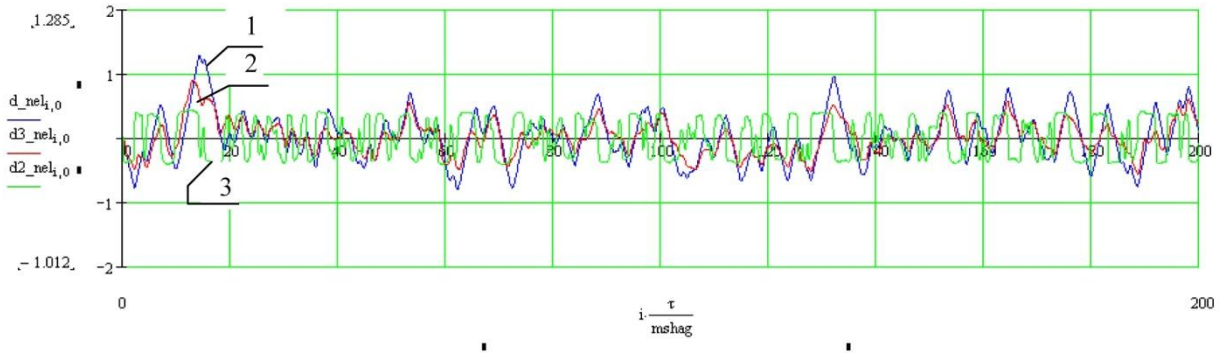


Рис. 2. Реализации робастной (1) и линейной (2) фильтрации видеоимпульса

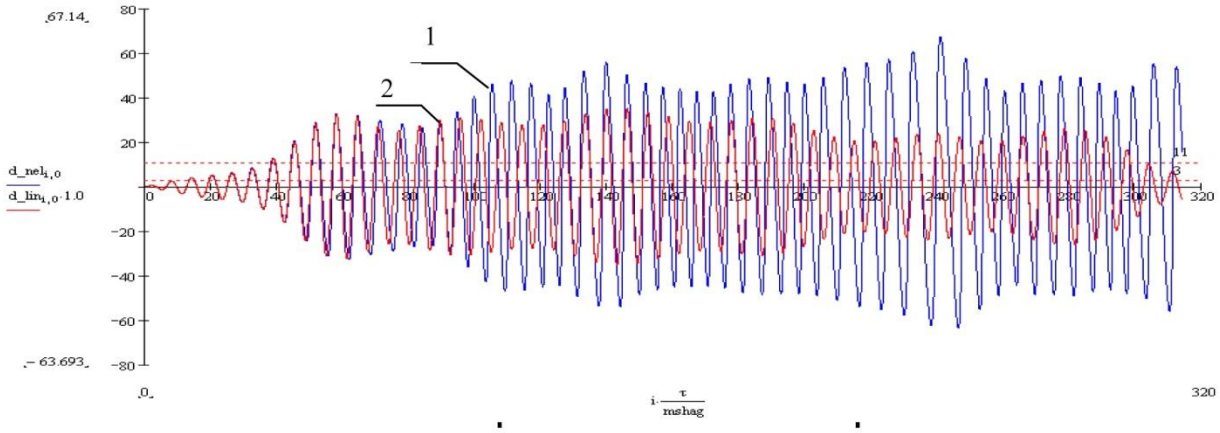


Рис. 3. Реализации робастной(1) и линейной(2) фильтрации радиоимпульса

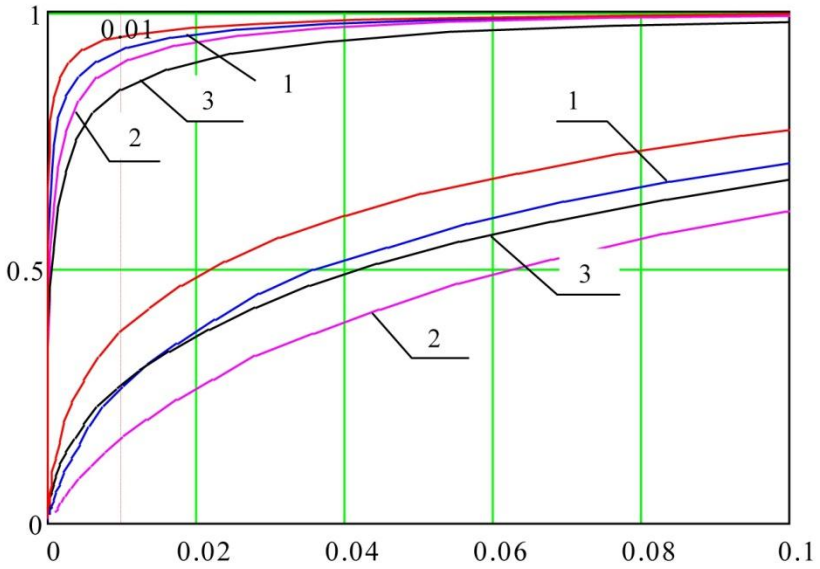


Рис.4. Рабочие характеристики робастных обнаружителей

Выводы

1. Методом робастной нелинейной фильтрации проведен синтеза структур и их параметров для обнаружителей, реализующихся на малых объемах статистических выборок и отношениях сигнал/шум.

2. Полученные результаты для робастных нелинейных обнаружителей показывают увеличение помехоустойчивости на малых объемах выборок по сравнению с известными структурами до 20дБ и более.

Список литературы

1. *Неволин, В.И.* Робастные информационные системы. Методы синтеза и анализа / В.И. Неволин — М.: Радио и связь, 2008

2. *Левин, Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники в 3_х кн. — М.: Советское радио, 1976. — Кн. 3.

3. *Хьюбер Дж.* Робастность в статистике. Пер. с англ./ Дж. Хьюберт –М.: Наука, 1984.

4. *Тихонов, В.И.* Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983.

5. *Неволин В.И., Неволин В.В.* Способ фильтрации и обнаружения импульсных сигналов робастной системой парциальных каналов. Заявка на изобретение № 2012185596 от 9.10.2012.

05.23.01

В.С. Парлашкевич к.т.н., А.А. Журавлев

Московский государственный строительный университет,
институт Строительства и архитектуры,
кафедра Металлических конструкций,
Москва, vs91144@mail.ru

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ СТАНЦИЙ

В статье проанализированы конструкции и работа несущих элементов башен. Выявлены дефекты несущих конструкций башен и установлены причины их появления. На основании наблюдений за натурными конструкциями и расчетов на прогрессирующее обрушение башен Антенно-Фидерных Станций даны рекомендации по повышению несущей способности этих конструкций.

Ключевые слова: *антенно-фидерная станция, элементы, наблюдение, несущая способность.*

Бесперебойность работы радио и телефонной связи требует установки базовых станций, контроллеров, коммутаторов и АТС. Связь осуществляется по следующей схеме: – телефон – базовая станция – контроллер – коммутатор – контроллер – базовая станция – телефон. Ячейки между базовыми станциями организуют соты, в которых осуществляется прием сигнала. У каждой базовой станции есть свое приемо-передающее устройство – Антенно-Фидерная Станция (АФС). Кучность установки АФС диктуется количеством абонентов, высотой установки приемопередатчиков, рельефом местности и прочими факторами. Ключевым моментом является высота установки приемопередающих устройств (антенн). В качестве примера можно сказать, что ячейка составляется из АФС высотой от 70 м, а при недостаточной пропускной способности возможна установка в ячейку более низких АФС высотой от 40 м, так и столбов двойного назначения высотой от 10 м.

В качестве конструкций АФС используют мачты, столбы, башни, монополи, опоры на кровлях (рис.1).

Мачты – позволяют размещать антенны на больших высотах, экономичны в производстве и монтаже.

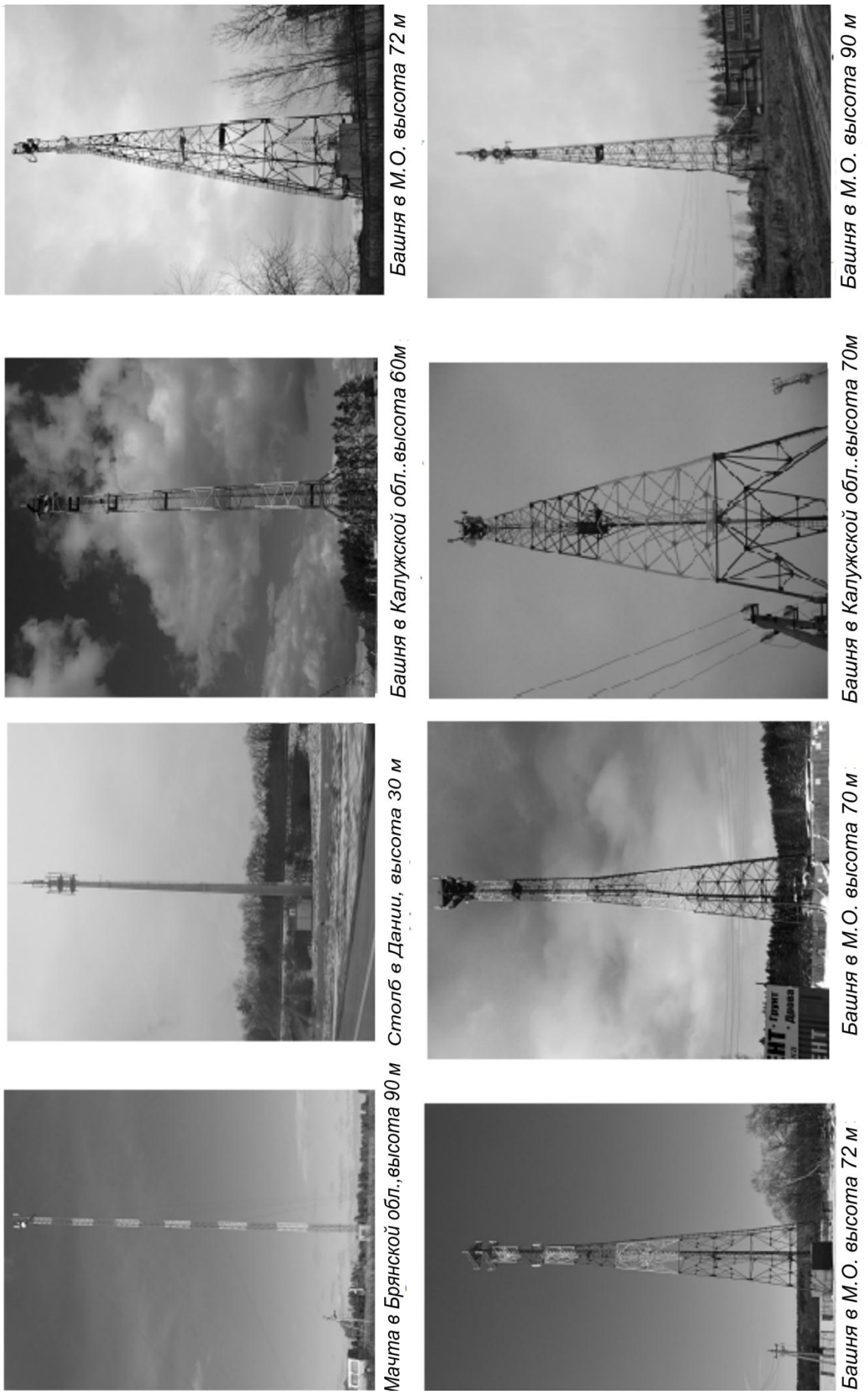


Рис.1. Конструкции антенно-фидерных станций

Но мачты не получили большой популярности, не смотря на их возможную высоту (свыше *90 м*), простоту изготовления, доставки и монтажа однотипных секций. Однако занимаемая ими площадь превышает все экономические пределы (в площадь входит как место установки мачты, контейнера и фундаментов под оттяжки, так и площадь земли под оттяжками). Мачты целесообразно применять на малозаселенных и малоосвоенных территориях.

Столбы – экономичны в изготовлении, монтаже, эксплуатации, обслуживании, могут также нести осветительную или рекламную функцию, но имеют небольшую высоту и позволяют покрывать радиосигналом незначительные территории. Столбы логично применять вдоль трасс.

Наибольшее распространение получили башни высотой от 70 м, ввиду их надежности, долговечности, небольшого занимаемого места, скорости монтажа (в течение двух недель). Нижние секции могут поставляться на монтаж в разбивку, а верхние в сборе (возможно со склада вертолетом). Большая высота и площадь боковых граней дает возможность сдачи мест под антенны другого оператора. Конструкции башен не требуют постоянного обслуживания.

Однако башни не экономичны в изготовлении, ввиду разных длин секций, разных сечений и форм элементов.

Башни АФС подразделяются:

– по типам сечения – треугольные, квадратные, круглые;

– по типу сечения конструктивных элементов – из труб горячекатаных круглого и квадратного сечения, из уголков;

– по типу решетки – раскосная, полураскосная, ромбическая, крестовая;

– по типу поясов – параллельные, ломаные и их сочетание;

– пояс может быть наклонным и вертикальным – это завит от местности и преобладающего направления ветра.

АФС в любом своем исполнении, будь то башня или мачта, – это пространственная ферма. Расчет такой фермы несколько отличается от расчета обычных стропильных ферм [6] в части сбора нагрузок (учитывается ветровая нагрузка, притом возможен сбор нагрузки не на узел, а на секцию), так же учитывается гололедная нагрузка. Отличаются и расчетные сочетания нагрузок, необходимо рассматривать как воздействие ветрового потока с обледенением элементов, так и без него. Кроме того необходимо рассматривать случаи воздействия ветра на сторону башни (для треугольных башен) и на грань (для квадратных башен) [2, 7].

Наибольшую опасность для башен представляют пульсационные ветровые воздействия, которые при худших стечениях обстоятельств могут вызвать резонансные колебания и привести к частичному и полному разрушению конструкции [3, 4, 5].

Не меньшую опасность представляют дефекты, полученные при транспортировке и монтаже, такие как надломы, вмятины, трещины и т.п.

Очень опасны заполненные водой во время монтажа несущие стойки, выполненные из труб. Это происходит при несоблюдении монтажниками предусмотренных нормами мероприятий во время строительства башни. При монтаже во время дождя происходит накопление осадочной воды в теле трубы пояса. При монтаже в зимние время года при изменении температуры происходит накопление конденсатной воды. При замерзании происходит разрыв поверхности трубы пояса и, как следствие, существенно уменьшение несущей способности.

Проведенные нами поверочные расчеты на прогрессирующее обрушение показали, что некоторые типы башен могут устоять при возникновении надломов, вмятин, трещин и других видов частичных разрушений несущих конструкций. В некоторых случаях возможен частичный вывод из строя одного несущего элемента (рис.2), при этом усилия перераспределяются и передаются по второстепенным элементам (раскосам и распоркам), сохраняя работоспособность конструкции. При расчетах использовали нормативные

материалы [1], при сборе нагрузок использовали работы [2,3]. При проведении расчетов деформации фундаментной плиты не учитывали, принимали башню стоящую на недеформируемом основании.

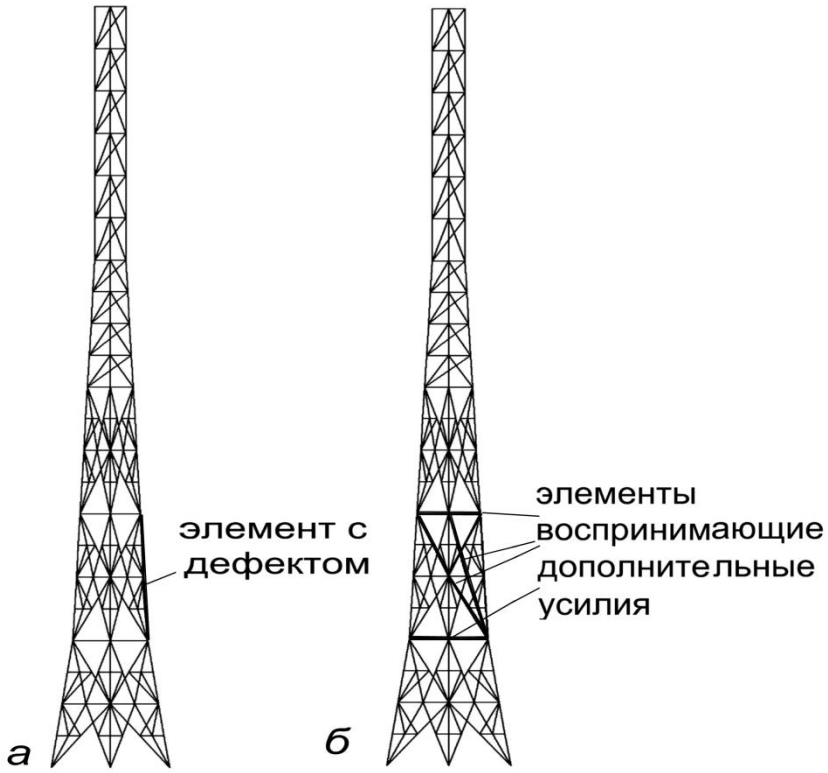


Рис. 2− Работа башни с дефектом пояса

При отсутствии дефектов происходит нормальная эксплуатация (работа) сооружения. Действие постоянной, динамической и пульсационной нагрузок воспринимается несущими частями башни, а именно поясами пространственной конструкции. Напряжения и деформации элементов возникают в соответствии с величиной усилий, возникающих от приложенной нагрузки.

Наличие случайных дефектов или частичного разрушения стенок несущих наиболее нагруженных элементов, вызывает частичное снижение несущей способности основного элемента (рис. 2, а). При снижении несущей способности менее 21,35% начинается перераспределение усилий на конструкции решетки и их взаимная работа. Предельные деформации конструкции в целом остаются в пределах нормы (рис. 2, б).

При снижении несущей способности со 100% до 21,35% (практически полное разрушение наиболее нагруженного пояса башни) вспомогательные элементы решетки, не предназначенные для восприятия таких усилий, начинают терять устойчивость. Происходит разрушение болтовых соединений элементов башни или разрыв сварных швов. Предельные деформации конструкции превышают допустимые значения. Происходит обрушение конструкции.

Так же были проведены расчеты болтовых соединений в местах примыкания «до», «во время» и «после» перераспределения нагрузок в элементах вплоть до самого разрушения.

По результатам расчетов был построен график деформаций (перемещений) верхней части башни (рис. 3).

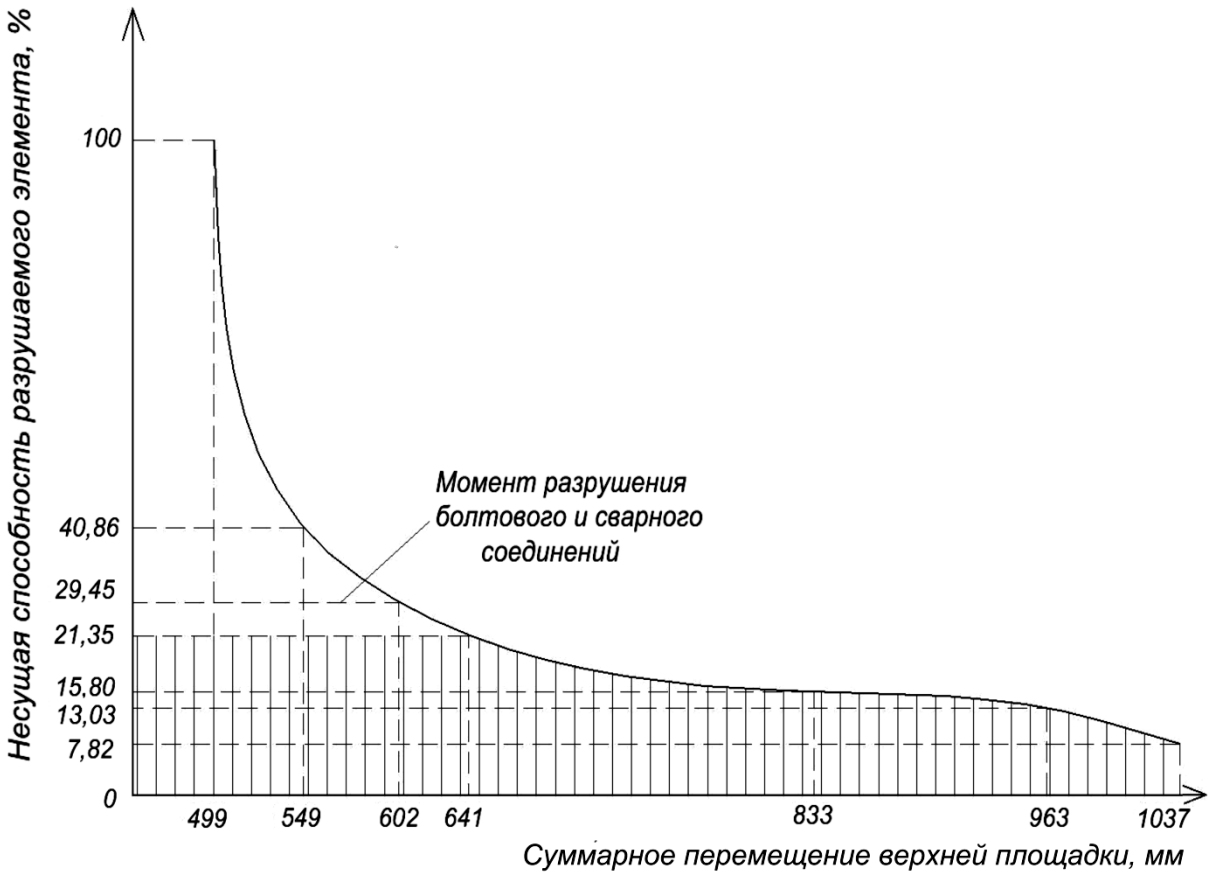


Рис. 3− Зависимость перемещения верхней площадки от снижения несущей способности разрушаемого элемента

На основании проведенного исследования можно заключить, что можно увеличить запас прочности всей конструкции в целом, применяя одно или несколько из ниже перечисленных рекомендаций:

− применение других марок сталей для вспомогательных элементов, таких как раскосы и распорки, которые в случае разрушения несущих конструкций могут воспринимать перераспределяющиеся усилия.

− увеличение сечения вспомогательных элементов до разумных значений по экономическим показателям расхода стали и растущей трудоемкостью их установки, вызванной ростом веса элементов.

− увеличение толщины фасонных элементов, в местах примыкания раскосов к поясам башни.

− применение высокопрочных болтов с классом прочности более 5.6 [1].

Так же предлагается использовать систему мониторинга для анализа и своевременного обнаружения растущих напряжений в элементах [4].

Список литературы

1.*Бабушкин В.М., Сахаров А.Н.* О применении во фланцевых соединениях антенных сооружений болтов класса прочности 8.8. // Промышленное и гражданское строительство. 2010, № 5, с. 45-46.
2. *Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., А.В. Перельмутер, С.В.Пичугин.* Под общей ред. А.В. Перельмутера. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения.− М.: АСВ, 2009. − 528 с.
3. *Зиннуров Т.А.,* Расчет надежности и ресурса несущих элементов башенного сооружения методами статистического моделирования. //Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры. М.: 2012. с. 123-125.
4. *Каракозова А.И.* Некоторые аспекты обоснования установки системы мониторинга на радиотелевизионной металлической башне высотой 258 м в Москве. //Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры. М.: 2012. с.126-128.
5. *Остроумов Б.В., Каракозова А.И.* Способ вычисления фактических логарифмических декрементов колебаний высотных сооружений. //Промышленное и гражданское строительство. 2011. с.40-41.
6. *СП 16.13330.2011*. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* М. 2011.
7. *СП 20.13330.2011.* Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07.-85* М. 2011.

05.13.01

А.И. Пашковский

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
институт радиоэлектроники и информационных технологий,
кафедра "Информатика и системы управления",
Нижний Новгород, ars2007@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

В работе рассматриваются перспективы применения марковских моделей в задачах диагностирования дефектов колесно-моторных блоков тягового рельсового подвижного состава. Показана возможность замены традиционных методов диагностики на систему обслуживания по текущему состоянию, в основе которой лежит скрытая марковская модель.

Ключевые слова: *диагностика, марковские модели, статистический метод.*

Введение

В современных условиях повсеместного внедрения и возрастающей сложности технических объектов наблюдается непрерывный рост требований к инструментам технической диагностики. Основная задача диагностирования состоит в организации эффективных процессов определения технического состояния объектов и выработки управляющих воздействий по результатам диагностирования, предотвращающих развитие внештатных ситуаций. Использование двух взаимосвязанных направления технической диагностики - синтеза контролепригодных систем [1,2] и теории распознавания образов позволяют повысить качество, точность диагностирования и оперативность принятия решений. В теории распознавания образов рассматриваются вопросы построения диагностических моделей, решающих правил и алгоритмов распознавания технических состояний диагностируемых объектов. Алгоритмы распознавания в технической диагностике основываются на диагностических моделях, устанавливающих связь между текущим состоянием диагностируемого объекта и его отображением в пространстве диагностических признаков. Вероятностный подход к построению моделей основан на эксплуатационных характеристиках объекта диагностики. Преимущество вероятностных моделей состоит в возможности их применения в условиях неопределенности априорной и текущей информации о состоянии технического объекта. Поскольку при решении технических задач часто приходится сталкиваться с явлениями, носящими непредсказуемый случайный характер, теория вероятностей является хорошим инструментом для анализа технического состояния объектов.

Предлагается использовать вероятностный подход для решения задачи диагностирования зарождающихся дефектов и прогнозирования состояния колесно-моторных блоков тягового рельсового подвижного состава.

Марковские модели вероятностных процессов

Рассмотрим марковские модели применительно к задачам распознавания технического состояния объекта. При решении задач распознавания образов для описания зависимостей будем использовать марковскую цепь. Вероятностная модель представляется марковской цепью в случае следующих предположений:

- в каждый момент времени объект может находиться в одном из n состояний: $\{S_1, ..., S_n\}$;
- для каждой пары состояний S_i и S_j определены вероятности перехода p_{ij} из состояния S_i в состояние S_j , образующие полную группу событий.

Отметим, что такая модель слишком ограничена для того, чтобы ее можно было успешно применить при диагностировании скрытых от непосредственного наблюдения элементов объектов диагностирования (ОД) и их дефектов, поскольку явно связывает текущее состояние системы и выходной сигнал (наблюдаемое значение).

В скрытых марковских моделях (СММ) концепция последовательности состояний, которая моделируется статистически, расширяется зависимым от состояния выходным сигналом. Предполагается, что наблюдаемыми могут быть только эти выходные характеристики, а последовательность состояний модели, описываемая цепью маркова, скрыта.

СММ является статистической моделью, которая может быть обучена распознавать данные измерений параметров сложного технического объекта, т.е. можно тренировать СММ распознавать различные состояния скрытых компонентов. Воспользуемся аппаратом СММ для построения модели безразборного диагностирования сложного технического объекта

Марковская модель задачи диагностирования колесно-моторных блоков тягового рельсового подвижного состава

Рассмотрим задачу диагностирования колесно-моторных блоков (КМБ) тягового рельсового подвижного состава. Задача диагностики состоит в определении технического состояния КМБ, в том числе зарождающихся дефектов, по данным измерений ряда косвенных параметров, а также прогнозирование будущего состояния ОД. Применим СММ в качестве модели для безразборного диагностирования технического состояния КМБ тягового рельсового подвижного состава. Решение задачи диагностирования сводится к последовательному выполнению трех шагов:

1. идентификации модели;
2. оценивания реализации ненаблюдаемого случайного процесса;
3. прогнозированию будущего состояния объекта диагностики.

Задача идентификации модели представляет собой задачу обучения, связанную с соотнесением различных дефектов КМБ с сигналами, полученными в результате диагностических мероприятий. Для этого создадим ассоциированную с каждым из дефектов СММ λ_k. В качестве наблюдений (выходных данных) будем использовать вибросигналы, полученные в процессе диагностики, при регламентированных или внеплановых технических обслуживаниях и ремонтах. Для выделения признаков различных дефектов воспользуемся методом спектра огибающей, который хорошо зарекомендовал себя в диагностике зарождающихся дефектов. Событие определенного класса, связанное с появлением одного из дефектов, вызывает характерное возмущение наблюдаемого сигнала. Таким образом, СММ для каждого из дефектов будем обучать на выборке сигналов полученных от КМБ с данным выявленным дефектом. Для обучения модели применим алгоритм *EM*-типа [3]. В основе процедуры оценки СММ лежит вычисление функции правдоподобия. Данный метод позволяет сравнить несколько вероятностных распределений с различными параметрами и произвести оценку наиболее подходящего распределения для данных наблюдений. На практике функцию правдоподобия удобнее заменить ее логарифмом:

$$Ln(V \mid \lambda) = \ln f_V(V \mid \lambda)$$

где V - наблюдаемая последовательность

Исходными данными для алгоритма обучения будет являться СММ со случайными параметрами. Классический алгоритм *EM*-типа представляет собой итерационную процедуру, улучшающую параметры модели. Каждая итерация метода состоит из двух шагов. На *E*-шаге вычисляется ожидаемое значение логарифма функции правдоподобия, при этом скрытые переменные рассматриваются как наблюдаемые:

$$p(S \mid V, \lambda_i) = \frac{p(V \mid S, \lambda_i)}{\int p(V \mid S, \lambda_i) dS}$$

где S - ненаблюдаемые состояния

На *M*-шаге максимизируется оценка максимального правдоподобия, вычисляемое на *E*-шаге. Затем это значение используется для *E*-шага на следующей итерации:

$$\lambda_{i+1} = \arg\max_{\lambda} E_{S|V,\lambda_i} \log p(V \mid S, \lambda_i)$$

Каждая итерация алгоритма приводит к неуменьшению логарифма функции правдоподобия. Монотонность алгоритма показана в [3]. Итерации будем продолжать до сходимости параметров модели.

Задача сегментации сводится к выявлению последовательности состояний, через которые прошел диагностируемый объект. По набору измерений, снятых с диагностируемого КМБ, необходимо определить текущее состояние объекта, и, в случае выявления аномалий, выявить класс принадлежности дефекта и обозначить необходимые ремонтные мероприятия, а в случае бездефектного состояния обозначить следующий акт диагностики. Определение текущего состояния ОД включает в себя вычисление функции правдоподобия для всех СММ. Состояние соответствующее СММ λ_k с наибольшим значением функции правдоподобия будем оценивать как состояние диагностируемого объекта.

Для прогнозирования состояния ОД необходимо иметь информацию о степени развития дефектов. Поэтому предлагается произвести расширение диагностической модели путем обучения моделей соответствующих разной степени развития дефектов, выявленных в результате диагностических мероприятий. Далее для оценки оставшегося срока эксплуатации можно воспользоваться регрессионной моделью прогнозирования.

Заключение

В статье предложен вероятностный подход, основанный на внедрении скрытой марковской модели для решения задачи диагностирования сложных технических объектов. Выбор модели позволяет провести прогнозирование будущего состояния объекта. По этой причине предлагается заменить традиционный метод профилактического диагностирования, осуществляемый в форме планового технического обслуживания, направленного на предотвращение аварий и сбоев, и произвести внедрение метода обслуживания, основанного на текущем состоянии диагностируемого объекта.

Список литературы

1. *Соколова Э.С., Капранов С.Н., Дмитриев Д.В.* Адаптация генетических алгоритмов к решению задач назначения точек контроля в объектах с большим числом состояний // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2007. – №11. – С. 54-68.

2. *Соколова Э.С., Степаненко М.А.* Разработка алгоритма локализации дефектов на назначенной совокупности контрольных точек // Журнал Контроль. Диагностика. – 2006. – №9. – С. 41-44.

3. *Королёв В.Ю.* EM-алгоритм, его модификации и их применение к задаче разделения смесей вероятностных распределений. – М.: ИПИ РАН, 2007. –102 с.

05.07.05

О.В. Пищулина, В.Я. Модорский д.т.н., В.В. Севастьянов д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
аэрокосмический факультет, кафедра механики композиционных материалов и конструкций,
Пермь, Pischulina.o@gmail.com

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПРАВКИ ДЛЯ НАМОТКИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе представлены физическая и математическая модели для оценки напряженно-деформированного состояния оправки. Проведен анализ влияния геометрических характеристик оправки на массовые характеристики конструкции.

Ключевые слова: *оправка, физическая модель, математическая модель, вычислительный эксперимент, напряженно-деформированное состояние, анализ результатов.*

Для эффективного использования труб из стеклопластика необходимо снизить их себестоимость до уровня стальных. Для этого необходимо снизить энергоемкость приводов, увеличить скорость наработки трубы.

Анализ существующих конструкций оправок (рис. 1,а) показал, что возможна их существенная модернизация путем использования принципа уравновешивания действующих внешних сил (см. рис. 1,б). Имеется конструкция, которая защищена патентом [1]. Некоторым вопросам проектирования модернизированной оправки посвящена данная работа.

На первом этапе рассмотрим физическую модель конструкции. В рамках физической модели принимается, что конструкция трехмерная; учитывается действующее давление на оправку при намотке P=0,6МПа; конструкция закреплена консольно; материал конструкции упругий, изотропный; материал - Сталь 40 [2].

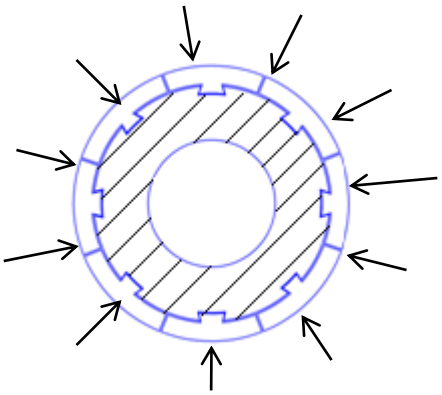


Рис. 1(а) –Существующая конструкция

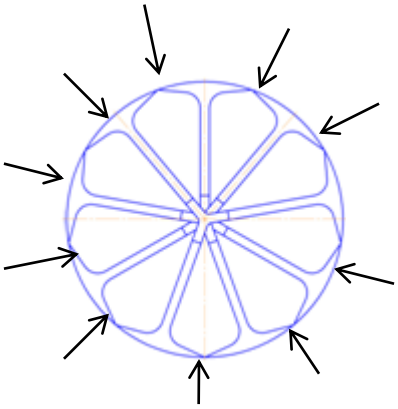


Рис. 1(б)–Новая конструкция

При формировании математической модели находим связь между перемещениями, деформациями и напряжениями. Решение получаем в виде системы линейных алгебраических уравнений

$$[K]\{u\} = \{F\}, \qquad (1)$$

где [K] - глобальная матрица жесткости, {u} - вектор перемещений, {F} – вектор узловых нагрузок.

Решая эту систему линейных уравнений получим узловые перемещения {u}, далее определим деформации и напряжения

$$\{\varepsilon\} = [B]\{u\} \qquad (2)$$

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\}, \qquad (3)$$

где [B] – матрица определяемая путем дифференцирования матрицы функций формы [N], которая в свою очередь определяется через координаты узлов элемента, [C] – матрица компоненты которой соответствуют компонентам тензора упругих констант для данного материала элемента.

Исходная система уравнений замыкается начальными и граничными условиями. Для решения предложенных уравнений используется метод конечных элементов [2-4].

Для моделирования крепления рабочей части оправки к приводу используется фиксированное закрепление со стороны свободного торца - FixedSupport (жесткая заделка). На рабочую часть действует давление от намотки 0,6 МПа. Граничные условия представлены на рис. 2.

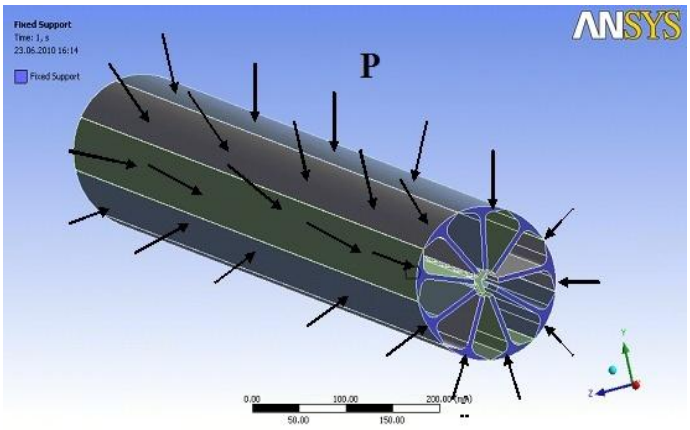


Рис. 2 – Граничные условия

– жесткая заделка.

При проектировании модернизированной оправки важно установить зависимость ее массы от размеров конструкции элементов: наружного диаметра, толщины стенки, площади вырезанных окон. Составлен план проведения вычислительных экспериментов.

Таблица 1 – План проведения вычислительного эксперимента

Варианты	Параметры		
	D, мм	$S'_{\text{окон}}$, %	$h_{\text{стенки}}$,мм
1	150	-	5
2	200	-	5,4
3	320	-	7
4	150	13	5
5	150	23	5
6	150	33	5
7	150	-	3
8	150	-	1

В качестве базовой принимаем конструкцию оправки, которая состоит из трех секций, имеет длину 3,900 м и диаметр 0,15 м. Каждая секция состоит из трех секторов, соединенных между собой под углом 120º («тритавр»). Сектор представляет собой элемент тавра, состоящий из полки и стенки. Варианты 2 и 3 отличаются от базового варианта диаметром. Им соответствует определенный номер двутавра с соответствующими размерами по ГОСТ. Варианты 4, 5 и 6 отличаются от базового варианта наличием в стенке тавра «окон». Суммарная площадь всех окон для варианта 4 составляет 13%, для варианта 5 – 23%, для варианта 6 – 33%. Варианты 7 и 8 отличаются от базового толщиной стенки тавра.

На рис. 4,5 представлено напряженно-деформированное состояние базового варианта с тавровыми элементами с учетом собственного веса и давления на наружнуюа поверхность оправки при намотке. Построены поля перемещений вдоль оси OY, поля напряжений. Изображено продольное сечение оправки, причем заделка расположена справа.

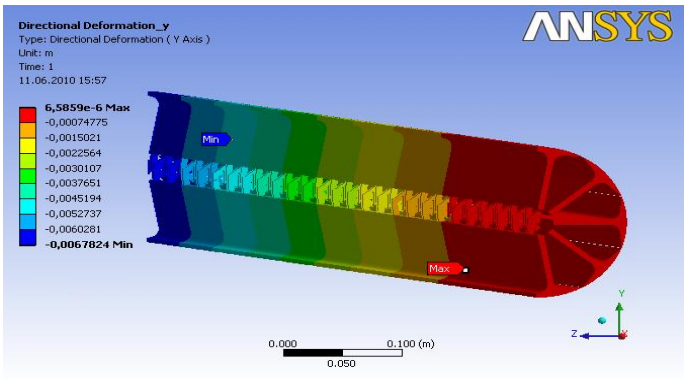


Рис.4 – Распределение суммарных перемещений вдоль оси OY, м

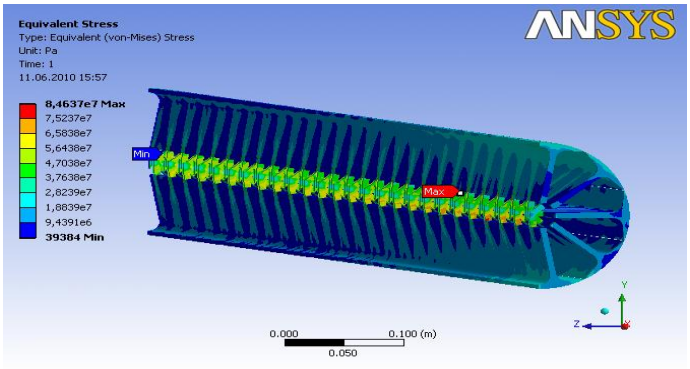


Рис.5 – Распределение напряжений, Па

Результаты проведения вычислительных экспериментов по оценке НДС оправки при действии наружного давления и гравитации представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты вычислительных экспериментов

Вар.	Масса, кг	Кол-во элементов	Макс. перемещения, м	Макс. деформации, %	Макс. напряжения, МПа
1	143,3	89656	3,02	0,033	66,61
2	258,9	68954	3,8	0,035	71,1
3	677,2	61477	3,46	0,035	70,29
4	124,2	60508	3,38	0,033	66,52
5	109,9	61547	4,22	0,032	64,18
6	95,6	60887	7,73	0,042	85,81
7	111,9	65989	4,08	0,047	95,73
8	80,5	69088	173,59	0,002	497,4

В ходе вычислительных экспериментов вариантов 1-8 проведен анализ влияния геометрических характеристик элементов оправки на следующие параметры: напряжения, перемещения вдоль оси OY и массу (см. рис. 6).

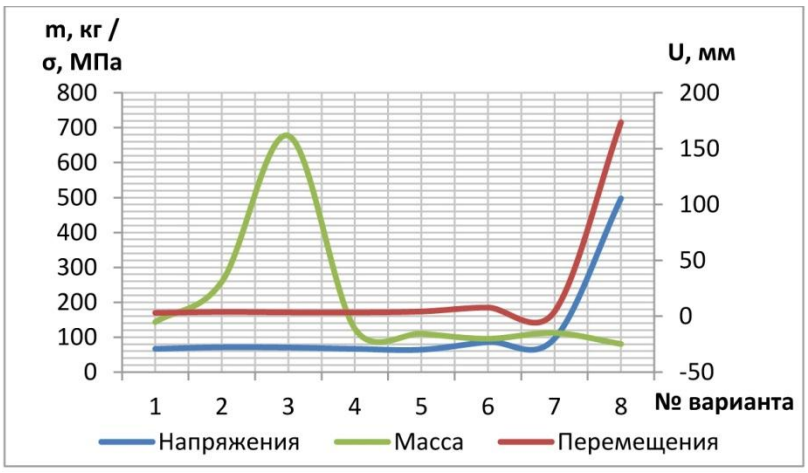


Рис. 6 – Зависимость массы, напряжений и перемещений от геометрических параметров оправки

Анализ полученных результатов показал, что максимальная масса получена для варианта 3; минимальная масса получена для варианта 8; максимальные напряжения получены для варианта 8; минимальные напряжения получены для варианта 5; максимальные перемещения получены для варианта 8; минимальные перемещения получены для базового варианта 1.

Выводы

1. Наиболее предпочтительным из рассмотренных вариантов является вариант 6, так как масса, максимальные перемещения и напряжения не превышают допустимых.
2. Неприемлемым с точки зрения НДС является вариант со стенкой 1мм.
3. Масса, в основном, определяется диаметром и длиной оправки.
4. Использование окон позволяет снизить массу на 34%
5. Снижение толщины стенки позволяет снизить массу на 22%
6. Разработана модель для оценки НДС оправки, которая позволит в дальнейшем провести многопараметрическую оптимизацию конструкции.

Список литературы

1. Пат. № 2390415 Рос. Федерация: B29C53/82/Карпов Вячеслав Викторович; заявлено 24.11.2008, опубл. 27.05.2010.

2. *О.В. Пищулина, В.Я. Модорский,* Вычислительное моделирование напряженно-деформированного состояния перспективной оправки для непрерывной намотки труб из композиционных материалов// Сборник X Международной конференции «Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах. 2010. Т.2. С. 203-208.

3. *Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, П.В. Писарев, Ю.В. Соколкин.* Численное моделирование деформированного состояния крупногабаритной конструкции из композиционного материала// Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.116-120.

4. *Р.В. Бульбович, Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, П.В. Писарев.* Численное моделирование напряженно-деформированного состояния активной заглушки резонатора // Научно-технический вестник Поволжья №1, 2012, Казань, с.95-100.

05.13.12

[1]А.Д. Проскурин к.т.н., [2]В.А. Лысов, [3]О.В. Шевченко

[1]Оренбургский государственный университет,
г. Оренбург, aproskurin@mail.osu.ru

[2]Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ,
г. Орск, lysov.vladimir-orsk@yandex.ru

[3]ОАО «Орскнефтеоргсинтез»,
г. Орск, oksanavsh@yandex.ru

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА В РЕАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ВРЕМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ МНОГОПОЗИЦИОННОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

В работе обосновано применение вероятностно-статистических методов оценки технологических операций автоматического контроля, представлена вероятностно-статистическая модель многопозиционного автоматического контроля.

Рассмотрен метод получения вероятностной оценки пропуска брака (бракованная деталь, сборочная единица признана годной) на операциях технического контроля в автоматическом режиме с точностью до станка-автомата при однопозиционном и с точностью до контроллера при многопозиционном контроле.

Показана возможность в реальном режиме времени имитировать прохождение детали (сборочной единицы) через операции автоматического контроля.

Научно-практические результаты внедрены в производственный процесс ЗАО «Механический завод», г. Орск, Оренбургская область.

Ключевые слова: *технологический процесс, технический контроль, вероятность, полная группа событий, формула полной вероятности, формула Бейеса.*

1. Постановка задачи. Производственная необходимость

Любой технологический процесс представляет собой хорошо структурированную, однозначно определённую последовательность операций изготовления и контроля, что создает благоприятную основу применения вероятностно-статистических методов пооперационной оценки качества.

Будем различать одноместные и многоместные технологические операции в зависимости от количества рабочих мест. На многоместных операциях задействовано необходимое количество однотипных рабочих мест, которое определяется исходя из временных характеристик, чтобы избежать возникновения “узких мест” в процессе производства. Далее будем рассматривать многоместные операции контроля, на которых задействовано несколько однотипных станков-автоматов однопозиционного и многопозиционного контроля.

Имеет место следующая проблема. На многоместной операции контроля по какой-либо причине пропущен брак, то есть, бракованная деталь определена годной, что обнаружено на последующих операциях. В этом случае необходимо оперативно определить, какой станок-автомат (контроллер) наиболее вероятно пропустил брак, чтобы с него начать осмотр и, по мере убывания вероятностей, произвести осмотр остальных. Таким образом, обеспечивается существенное сокращение времени поиска неисправностей без остановки производственного процесса.

С этой целью возникает необходимость решения следующих задач.

Задача 1. Вероятностная оценка пропуска брака на многоместной операции однопозиционного автоматического контроля с точностью до станка-автомата.

Задача 2. Вероятностная оценка пропуска брака на многоместной операции многопозиционного автоматического контроля с точностью до контроллера.

2. Математические модели вероятностной оценки

Для решения сформулированных задач введём обозначения.

Таблица 1 – Входные и выходные данные для решения задач 1 и 2

Обозначение	Наименование
Входные и выходные данные для решения задачи 1	
A_i, $P(A_i)$	Событие “Контроль производится станком-автоматом с номером *i*”, вероятность наступления события
X, $P(X)$	Событие “На многоместной операции технического контроля пропущен брак”, вероятность наступления события
$P(X/A_i)$	Условная вероятность “Пропущен брак, при условии: контроль произведён станком-автоматом с номером *i*”
$P(A_i/X)$	Вероятность гипотезы “Брак пропущен станком-автоматом с номером *i*”
Входные и выходные данные для решения задачи 2	
A_{ij}, $P(A_{ij})$	Событие “Контроль производится на станке-автомате с номером *i* контроллером *j* ”, вероятность наступления события
X, $P(X)$	Событие “На многоместной операции технического контроля пропущен брак”, вероятность наступления события
$P(X/A_{ij})$	Условная вероятность “Пропущен брак, при условии: контроль произведён на станке-автомате с номером *i* контроллером *j* ”
$P(A_{ij}/X)$	Вероятность гипотезы “Брак пропущен контроллером *j* на станке-автомате с номером *i*”

Вероятности $P(A_i)$, $P(A_{ij})$ определяются статистически за определенный период (смена, месяц, с начала запуска изделия в производство). Контроль производит первый свободный станок-автомат, т.е. какой-либо закономерности в этом нет. Совокупность событий A_i образует полную группу [2,3], поэтому применение формулы полной вероятности и формулы Бейеса [2,3] с точностью до станка-автомата обосновано.

Вероятности $P(X/A_i)$, $P(X/A_{ij})$ определить сложнее, так как при высокой степени организации производственного процесса и хорошо отлаженной технологии можно в течение длительного периода времени не получить данные о появлении брака. Более того, в этой ситуации появление брака будет иметь эпизодический характер. В этом случае вероятности $P(X/A_i)$, $P(X/A_{ij})$ примут ничтожно малые значения и не отразят истинной оценки результата контроля.

Применение традиционных методов, например, отслеживание прохождения через операцию контроля заведомо бракованных деталей или установка более жёстких условий перенастройкой контроллеров не дают желаемого результата и достаточно трудоемки. Гораздо эффективнее смоделировать ту или иную ситуацию следующим образом. Компьютерная программа хаотично посылает на свободные контроллеры данные, характеризующие возможные ситуации. По ответным результатам вычисляются вероятности $P(X/A_i)$, $P(X/A_{ij})$. На основании полученных данных оперативно вычисляются вероятности гипотез $P(A_i/X)$, $P(A_{ij}/X)$.

По формуле полной вероятности [2,3] определяется вероятность

$$P(X) = \sum_{i=1}^{n} P(A_i)P(X / A_i)$$

По формуле Бейеса [2,3] определяется вероятность гипотез:

$$P(A_i / X) = \frac{P(A_i)P(X / A_i)}{P(X)}$$

Аналогично для каждого значения *j* определяется вероятность:

$$P(X_j) = \sum_{i=1}^{n} P(A_{ij})P(X_j / A_{ij})$$

Вероятность пропуска брака на операции многопозиционного контроля определяется на

основании теорем сложения и умножения вероятностей [2,3] для каждого контроллера с номером j=1,2,...,k::

$$P(X) = 1 - \prod_{j=1}^{k} (1 - P(X_j))$$

$$P(A_{ij} / X) = \frac{P(A_{ij})P(X / A_{ij})}{P(X)}$$

3. Практические результаты

В таблицах 2,3.4 представлены фрагменты расчёта вероятностных оценок. Приведены отвлечённые данные по оценке операции контроля геометрических параметров детали типа «полый цилиндр».

Таблица 2 – Вероятностные оценки пропуска брака на многоместной операции однопозиционного контроля

Станок-автомат	Количество деталей, поступивших на контроль. Событие A_i	Вероятность проведения контроля $P(A_i)$	Вероятность пропуска брака	Условная вероятность пропуска брака $P(X/A_i)$	Вероятность гипотезы $P(A_i/X)$
1	705	0,174332	0,000231	0,000040	0,113826
2	620	0,153314	0,000464	0,000071	0,201070
...					
6	710	0,175569	0,000395	0,000069	0,196017
	Всего: 4044	Сумма 1,000	Вероятность пропуска брака на операции 0,000354		Сумма 1,000

Таблица 3 – Вероятностные оценки пропуска брака на многоместной операции многопозиционного контроля

Станок-автомат	Количество деталей, поступивших на контроль. Событие A_{ij}	Вероятность проведения контроля $P(A_{ij})$	Вероятность пропуска брака	Условная вероятность пропуска брака $P(X/A_{ij})$	Вероятность гипотезы $P(A_{ij}/X)$
Длина (контроллер 1)					
1	705	0,189976	0,000200	0,000038	0,121588
2	620	0,167071	0,000300	0,000050	0,160393
...					
6	710	0,191323	0,000091	0,000017	0,055715
	3711	1,000000		0,000312	1,000000
Диаметр внешний (контроллер 2)					
1	705	0,189976	0,000440	0,000084	0,195688
2	620	0,167071	0,000650	0,000109	0,254230
...					
6	710	0,191323	0,000290	0,000055	0,129891
	3711	1,000000		0,000427	1,000000
...					
Осевое смещение (контроллер 4)					
1	705	0,189976	0,000360	0,000068	0,130893
2	620	0,167071	0,000530	0,000089	0,169470
...					
6	710	0,191323	0,000402	0,000077	0,147200
	3711	1,000000		0,000522	1,000000
Вероятность пропуска брака на операции:				**0,001752**	

Таблица 4 – Вероятностная оценка в реальном режиме времени пропуска брака на многоместной операции многопозиционного контроля

Станок-автомат	Вероятностная оценка пропуска брака с точностью до контроллера			
	Длина	Диаметр внешний	Диаметр внутренний	Осевое смещение
1	0,121588	0,195688	0,123839	0,130893
2	0,160393	0,254230	0,156555	0,169470
...				
6	0,055715	0,129891	0,218255	0,147200
Сумма:	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000

Результаты работы внедрены в производственный процесс ЗАО «Механический завод» (г. Орск). Акт внедрения № 040-005 от 24 октября 2011г. В течение эксплуатации:

– обосновано применение вероятностно-статистических методов с целью эффективной оценки операций автоматического контроля;

– создана вероятностно-статистическая модель многоместной операции одно- и многопозиционного автоматического контроля;

– получена возможность в реальном режиме времени имитировать прохождение детали через операции автоматического контроля;

– регламентированы графики проведения профилактических работ;

– сокращены вынужденные простои оборудования на 3,5 – 4,5%;

– снижен пропуск брака до 0,005%.

Список литературы

1. *Бородачёв, Н.А.* Статистические методы анализа и контроля качества продукции, хода технологического процесса и состояния производственного оборудования. Энциклопедический справочник [Текст] / Н.А. Бородачёв, А.Н. Журавлев. - М.: «Машиностроение», т. 15, Машгиз, 1950

2. *Вентцель, Е.С.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. Учебное пособие для втузов.— 2-е изд., стереотипное — М.: Высш. шк., 2000.—480 с.

3. *Гмурман, В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1999.

05.23.01

А.А. Пятницкий к.т.н., М.А. Пыльцин, Н.С. Прохорова, С.А. Крутик, А.М. Галушко

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, pik-mgsu@mail.ru

УСИЛЕНИЕ СЖАТЫХ СТАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ

В статье предлагается способ усиления сжато-изогнутых элементов. Приводятся примеры решения конструктивных схем усиления. Подробно рассматривается использование данного способа усиления при реконструкции здания, построенного в начале 20 в.

Ключевые слова: *усиление сжатых металлических элементов, обойма.*

При разработке проектов реконструкции зданий и сооружений приходится сталкиваться с проблемой усиления элементов стальных конструкций, напряжения в которых близки к предельно допустимым.

Усиливаемые элементы конструкции по условиям работы делятся на четыре класса, отличающиеся нормой допустимых предельных пластических деформаций [1]. Конструкции, усиливаемые путем увеличения сечения без полной разгрузки, должны быть рассчитаны на начальное нагружение. Предельный уровень начального нагружения характеризуется коэффициентом β_0 и ограничивается для элементов, усиливаемых с помощью сварки, в соответствии с классом конструкции достаточно жестко, так:

для I класса – $\beta_0 \leq 0{,}2$;

для II класса – $\beta_0 \leq 0{,}4$;

для III и IV класса – $\beta_0 \leq 0{,}8$, где

$\beta_0 = \frac{\sigma_{0max}}{R_{y0}}$ – отношение наибольшего напряжения в усиливаемом элементе в момент усиления к его расчетному сопротивлению.

Приварка усиливающих элементов может быть ограничена технологическими возможностями. Научно-исследовательской и проектно-производственной лабораторией «ПиК» ФГБОУ ВПО МГСУ был разработан способ усиления таких конструкций [1]. Суть усиления заключается в устройстве металлической обоймы вокруг элемента с заполнением её связующим материалом. Оптимально, если центр тяжести обоймы совпадает с центрами тяжести опорных сечений усиливаемого элемента. Варианты конструктивного решения обойм показаны на рис. 1. Сечение обоймы принимается конструктивно и проверяется расчетом.

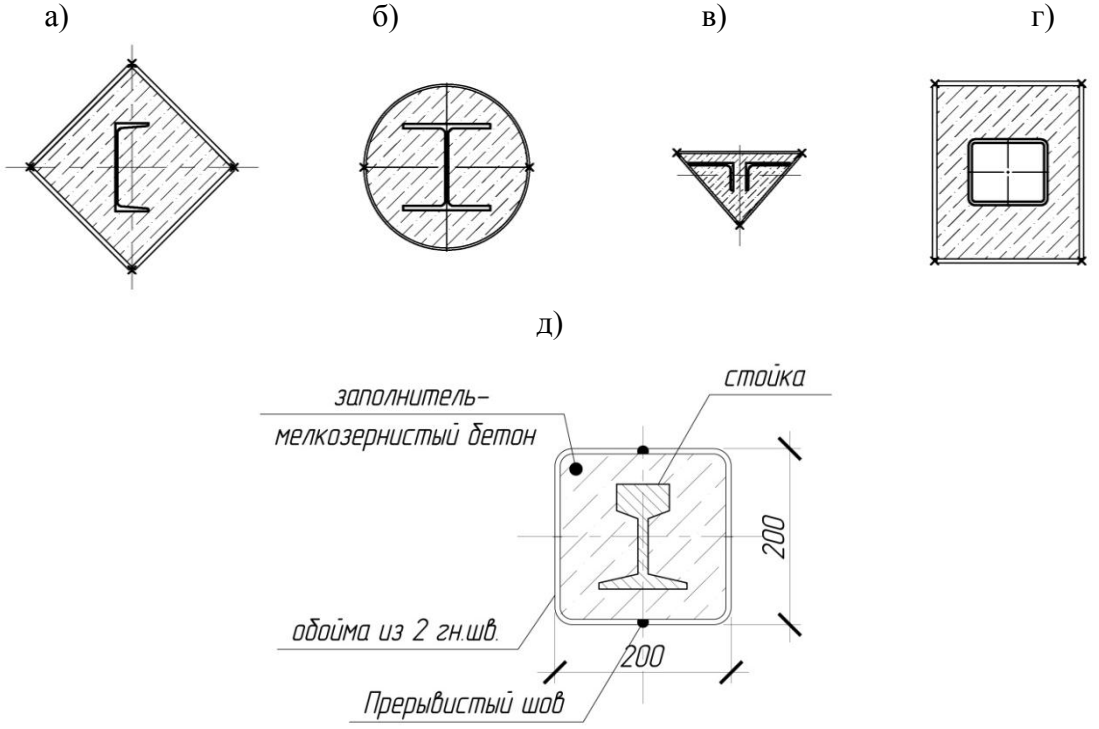


Рис. 1- Возможные схемы усиления: а-г - варианты конструктивного решения обоймы; д - реализованная схема усиления

Такой способ усиления был использован в здании постройки начала XX века. В процессе надстройки здания в середине прошлого века перемычки окон первого этажа были существенно догружены. Фрагмент фасада с надстроенными этажами показан на рис. 2. Усиление оконных перемычек было выполнено поддерживающими стальными стойками из рельсового проката 1908 г, которые установили в оконные проемы первого этажа. При увеличении проектной нагрузки, предусмотренной современной реконструкцией, было обнаружено, что стойки усиления, находятся в недопустимом состоянии, несущая способность стоек не обеспечена.

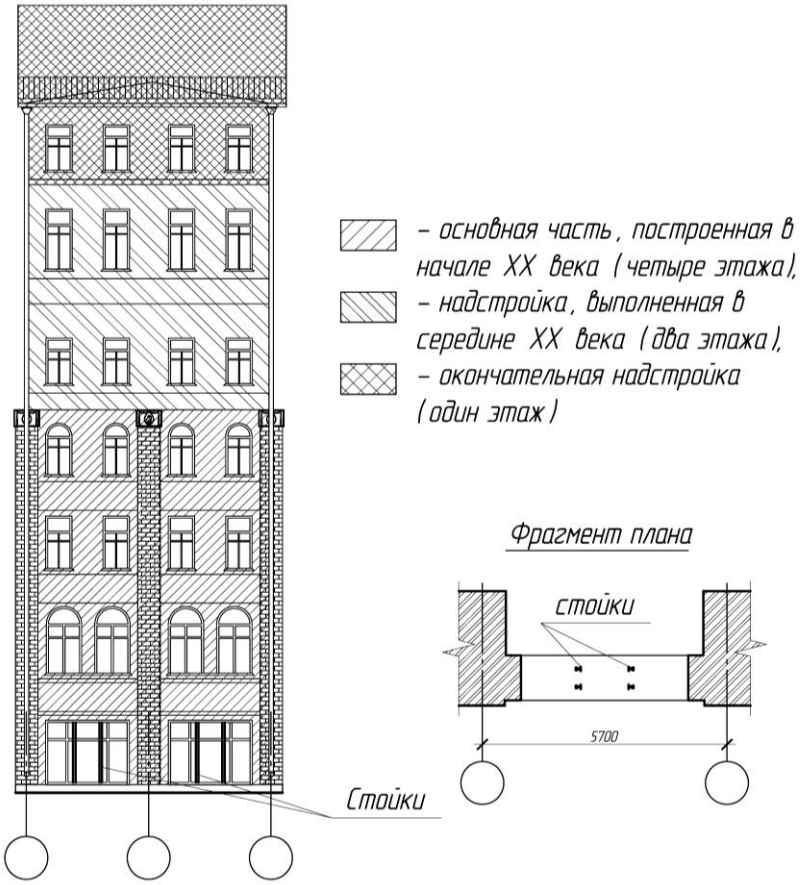


Рис. 2- Фрагмент фасада с надстроенными этажам

Для оценки несущей способности стоек были выполнены расчеты и уточнены свойства стали. В результате механических испытаний было выявлено, что материал поддерживающих стержней наиболее близок к современной стали Ст0кп с нормативным сопротивлением 205 МПа.

Учитывая высокий уровень напряжений в стойках и химический состав стали, усиление путем приварки дополнительных элементов было невозможно. Для усиления была использована схема, представленная на рис. 1 д.

Для оценки эффективности предложенного усиления были выполнены оценочные расчеты.

По данным обследования длина элемента составляет 3,8 м, радиус инерции – 18,54 мм. Фактическая гибкость равна 205, что превышает предельную гибкость $[\lambda]=210-60\alpha$. В соответствии с [3] неусиленная стойка теряет устойчивость по схеме Эйлера. При усилении гибкость стержня существенно уменьшается, и при расчете усиленного элемента рассматривается уже упруго-пластическая схема потери устойчивости составного стержня.

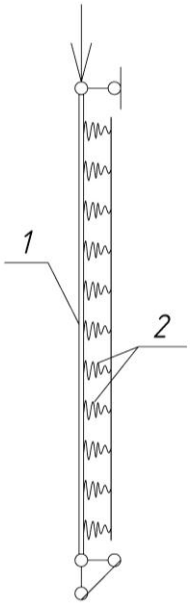


Рис. 3- Расчетная схема усиленного стержня. 1 – усиливаемый элемент,
2 – упругие связи, моделирующие внешнюю обойму

Для усиленной стойки был выполнен физически нелинейный расчет. На рис. 4 представлен график зависимости условной продольной силы от перемещения до и после усиления.

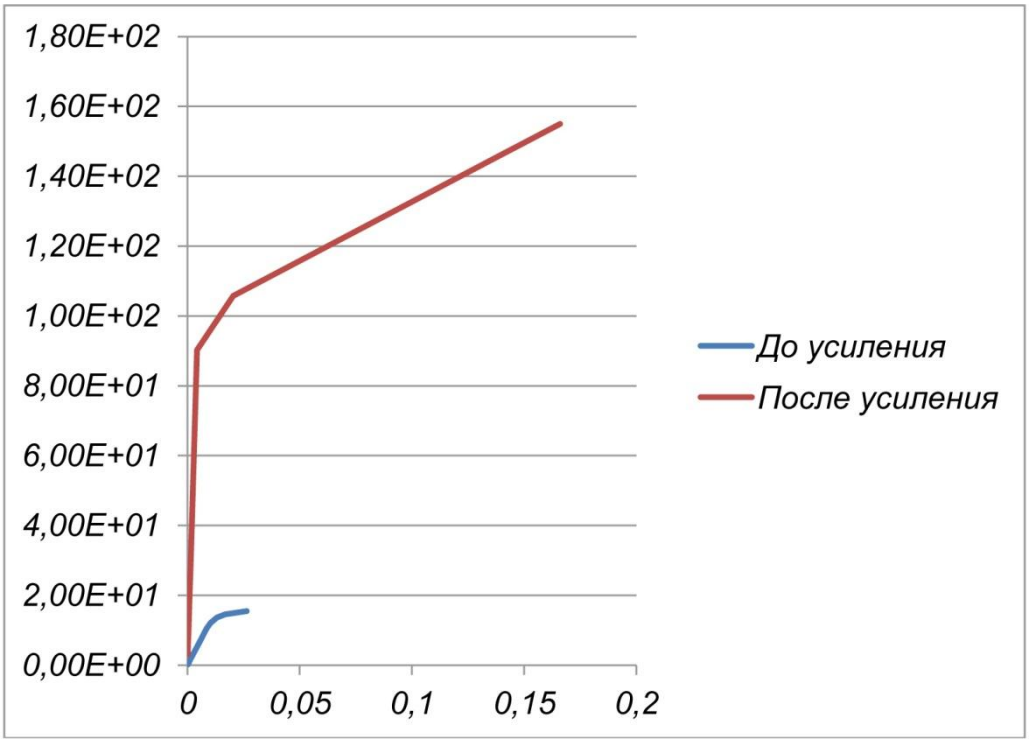


Рис. 4- График зависимости «$P_{усл.}$ – E» до и после усиления

На графике видно, что в результате усиления достигается пятикратное увеличение несущей способности стоек.

Список литературы

1. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*), М., Стройиздат, 1989, 160 с.
2. Патент на полезную модель № 107239 «Конструкция усиления сжато-изогнутого металлического элемента». Приоритет 09.02.2011 г.
3. Пособие по проектированию стальных конструкций к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции» ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. - 148 с.

05.23.08

О.В. Романченко к.т.н.

Российский государственный торгово-экономический университет,
кафедра экономики недвижимости,
Москва, centr_rus_yaz@mail.ru

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ: ЗНАЧЕНИЕ, ФУНКЦИИ И ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрены современные подходы к определению значения геодезических работ в организации строительства гражданских и промышленных объектов. Выделены направления развития геодезических работ, рассмотрения типы геодезических предприятий. Выявлены особенности управления геодезическим предприятием на современном этапе строительного производства. Определены перспективы развития и основные задачи геодезических предприятий.

Ключевые слова: *управление строительством; экономика строительства; организация геодезических работ; управление предприятием; строительная геодезия.*

Введение. Функции планирования и организации в системе управления на сегодняшний день являются наиболее дискутируемыми составляющими теории и практики управления в строительстве.

Так, в целях дальнейшего развития экономики и реализации программы жилищного строительства необходим рост производительности и эффективности строительной отрасли. Основной путь перехода к эффективному строительству – это дальнейшая последовательная интенсификация, рационализация и развитие на основе высокого уровня науки и техники, а также управления, планирования и организации производственных и строительных процессов [4].

Строительное производство является полномасштабным многоэтапным процессом, который включает в себя как массу вертикально зависимых, так и горизонтально несвязанных процессов, позволяющих организовать непрерывность строительства гражданских и промышленных объектов. Основой этого является деятельность подразделений, обеспечивающих подготовку производства, занимающихся научными исследованиями, разработками и их внедрением при проектировании строительной продукции и технологии строительства. Экономическая эффективность возведения, использования и технического обслуживания гражданских и промышленных зданий и сооружений определяется, в первую очередь, проектными решениями на этапе подготовки капитальных вложений. Осуществление единого процесса подготовки и реализации капитальных вложений требует концентрации, дальнейшего развития и тесного сотрудничества всех входящих в состав строительного комплекса, предприятий и научных учреждений строительства, подразделений, осуществляющих исследования и разработки новых изделий и технологий, строительно-техническое проектирование и технологическую подготовку строительного производства [3].

Именно подразделения, связанные с подготовкой строительного производства в целом, и в том числе проектные организации, в значительной степени отвечают за развитие процесса воспроизводства в строительстве. Последнее усиливает их социально-экономическую значимость в строительном комплексе.

1. Геодезические работы как вид проектных работ. Геодезические работы относятся к группе проектных работ при организации строительства гражданских и промышленных объектов. *Геодезические работы в строительстве* (или геодезическое сопровождение строительства) представляют собой комплекс измерений, вычислений и построений в

чертежах и на местности, обеспечивающих правильное и точное размещение зданий и сооружений, а также возведение их конструктивных и планировочных элементов в соответствии с геометрическими параметрами проекта и требованиями нормативных документов [1]. На каждом этапе геодезических работ в строительстве составляется исполнительная документация по выполненным работам. Исполнительная документация является результатом геодезической исполнительной съемки и представляется в графическом варианте. В ней отражается фактическое исполнение проектных решений, то есть фактическое положение объекта капитального строительства и его элементов. Исполнительные схемы составляются на основании требований действующих в строительной геодезии нормативных документов, требований органов государственного надзора, авторского надзора проектной организации, технадзора заказчика [6].

Качество работ в строительной геодезии определяется не только качеством примененных материалов по строительству зданий и сооружений, но и качеством представленной исполнительной документации, т.к. после строительства не заканчивается жизнь объекта: его необходимо эксплуатировать, производить строительные работы по косметическому и капитальному ремонту. Значит, чем легче это будет сделать, тем с меньшими затратами будет производиться эксплуатация и ремонт. Практика подсказывает, что без исполнительной документации бывает очень трудно без дополнительных затрат производить работы, особенно по прокладке новых и реконструкции существующих инженерных сетей. Таким образом, качество оформления исполнительной документации влияет на качество выполненных работ по строительству зданий и сооружений и на дальнейший процесс эксплуатации.

2. Управление деятельностью геодезического предприятия на современном этапе. Геодезия в строительстве на каждом этапе реализации проекта решает различные виды задач [1].

Государственные геодезические предприятия выступают как рядовые участники рынка работ специального назначения, вступают в конкурентную борьбу с организациями других форм собственности и имеют ряд неоспоримых преимуществ перед ними:

- высокое качество выполнения работ, гарантируемое квалифицированным персоналом и наличием отдела технического контроля;
- широкий спектр предоставляемых услуг: от геодезического обоснования съемки до издания топографических планов и карт;
- наличие современного оборудования и технологий, различных баз данных.

Геодезические предприятия планируют работы по госзаказу, но чаще всего стихийно действуют на рынке работ специального назначения, участвуют в конкурентной борьбе за получение заказов и иногда её проигрывают.

Творческое применение концепции маркетинга в управлении деятельностью геодезического предприятия на данном рынке позволит выйти на наиболее благоприятные сегменты рынка, сформировать в интересах предприятия изменяемые факторы внешней среды, в том числе и поведение потребителей, выполнять перспективное и текущее планирование, выработать оптимальную ценовую политику, удержать существующих и привлечь потенциальных заказчиков [2].

Прогрессивные решения в проектировании и строительстве современных зданий, сооружений и предприятий в целом ставят перед строительной геодезией ряд проблем, требующих коренного их решения. К таким проблемам могут быть отнесены:

- разработка экономически эффективных методов производства геодезических работ на строительной площадке;
- разработка и унификация схем опорных геодезических сетей, методов их построения и уравновешивания;
- определение требуемой точности выполнения геодезических построений на всех этапах возведения зданий и сооружений;

- создание прогрессивных геодезических инструментов и приборов для угловых, линейных и высотных измерений, прежде всего основанных на применении оптических квантовых генераторов.

Выводы. Обобщая результаты проведенного исследования, следует отметить, что функции геодезических работ в системе управления строительством многоаспектны.

В ходе систематизации научно-практического материала мы определили функции геодезических работ практически на каждой стадии современного строительного производства. Установлено, что проведение геодезического контроля и анализа представляет собой непрерывный поступательный процесс на всех этапах строительства, а геодезические предприятия играют все более важную роль в обеспечении деятельности строительного комплекса.

Список литературы

1. *Атрошко Е.К., Иванова М.М., Марендич В.Б.* Геодезия в промышленном и гражданском строительстве. Гомель: БелГУТ, 2009. 76 с.
2. *Афанасьев Н.Ф., Павлов В.И., Зубов А.В.* Системный подход в геодезии // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2006. № 1. С. 3-20.
3. *Горелов В.А., Глухов Г.В., Лавриненко Е.Д.* Создание планового геодезического обоснования при строительстве УНК // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2002. № 3. С. 3-14.
4. *Кичанов Р.И.* Развитие жилищной сферы страны и регионов в современных условиях. М.: Центр социальной политики Ин-та экономики РАН, 2007. 178 с.
5. *Клюшин Е.Б., Михелев Д.Ш., Барков Д.П.* Практикум по прикладной геодезии: геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений. М.: Недра, 1993. 275 с.
6. *Спиридонов А.И., Парвулюсов Ю.Б.* О техническом регулировании в геодезии и картографии // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2006. № 1. С. 176-185.

05.23.02

О.И. Рубцов, А.Ю. Бакалов, Д.И. Кобецкий

Московский государственный строительный университет,
Кафедра "Инженерная геодезия",
Москва, geodesy@mgsu.ru

КОНСОЛИДАЦИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ИМЕРЕТИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕХНОЛОГИИ «ПЕСКОНАСОС»

Приведены результаты штамповых испытаний слабых грунтов основания, закрепленных по технологии «Песконасос». Показана эффективность применения данной технологии для ускорения процессов консолидации.

Ключевые слова: *Механика грунтов, модуль деформации, консолидация, песконасос, усиление грунтов основания.*

Научно исследовательской и проектно производственной лабораторией «Проектирования и конструирования» (НИиППЛ «ПиК») МГСУ был выполнен проект «Консолидация и стабилизация грунтов основания» квартала «С» Имеретинской набережной г. Сочи. Необходимость разработки проекта вызвана масштабными строительными работами, проводимыми в рамках подготовки к Олимпиаде 2014 года.

В соответствии с заданием на разработку проектного решения по «усилению» слабых грунтов основания, должно было быть достигнуто состояние грунтов, характеризуемое значением модуля деформации Е не менее 5,0МПа при этом модуль деформации существующих грунтов основания находится в пределах 0,3-1,9 МПа.

Вторым определяющим условием проектного решения по «усилению» слабых грунтов основания является время консолидации. Степень консолидации 0,85 должна быть реализована за 6 месяцев, считая от момента завершения работ по упрочнению грунта.

При ограничениях, накладываемых временным фактором и инженерно геологическими условиями площадки, было принято решение об использовании технологии «Песконасос» для закрепления слабых грунтов основания. В данном случае технология «Песконасос» представлена в двух эпостасях. Первая эпостась – иглопесконасос, вторая – роторный песконасос. Подробно работа песконасоса описана в [1, 2, 3, 4]. Применение данной технологии обусловлено тем, что существующие технологии укрепления грунта не решают задачу по его консолидации к заданному сроку.

На первом этапе осуществлялась работа «иглопесконасоса», представляющего собой металлическую трубу с коническим раскрывающимся оголовком. Второй этап технологической схемы предусматривал работу песконасоса с эластичным рабочим органом.

Для подтверждения данной гипотезы было принято решение о выполнении работ на экспериментальных участках с последующим проведением натурных испытаний штампом.

Целью штамповых испытаний являлось определение степени закрепления грунтов основания, выражающейся в увеличении модуля деформации, а также определения времени консолидации грунтового массива.

Использование штампа, большого размера не предусмотренного [6] определило необходимоть разработки методики обработки результатов штамповых испытаний, основанной как на положениях ГОСТ, так и на методике, используемой при определении осадок фундаментов больших размеров на однородных основаниях, изложенной Цытовичем и Шлейхером в работе [5].

При проведении штамповых испытаний, в соответствии с указанной методикой, нагрузка прикладывалась поэтапно, ступенями. Каждая ступень нагрузки выдерживалась до условной стабилизации деформации грунта. В соответствии с данными геодезических наблюдений за штампом на опытном участке, построен график его осадок от времени, представленный на рис. 1.

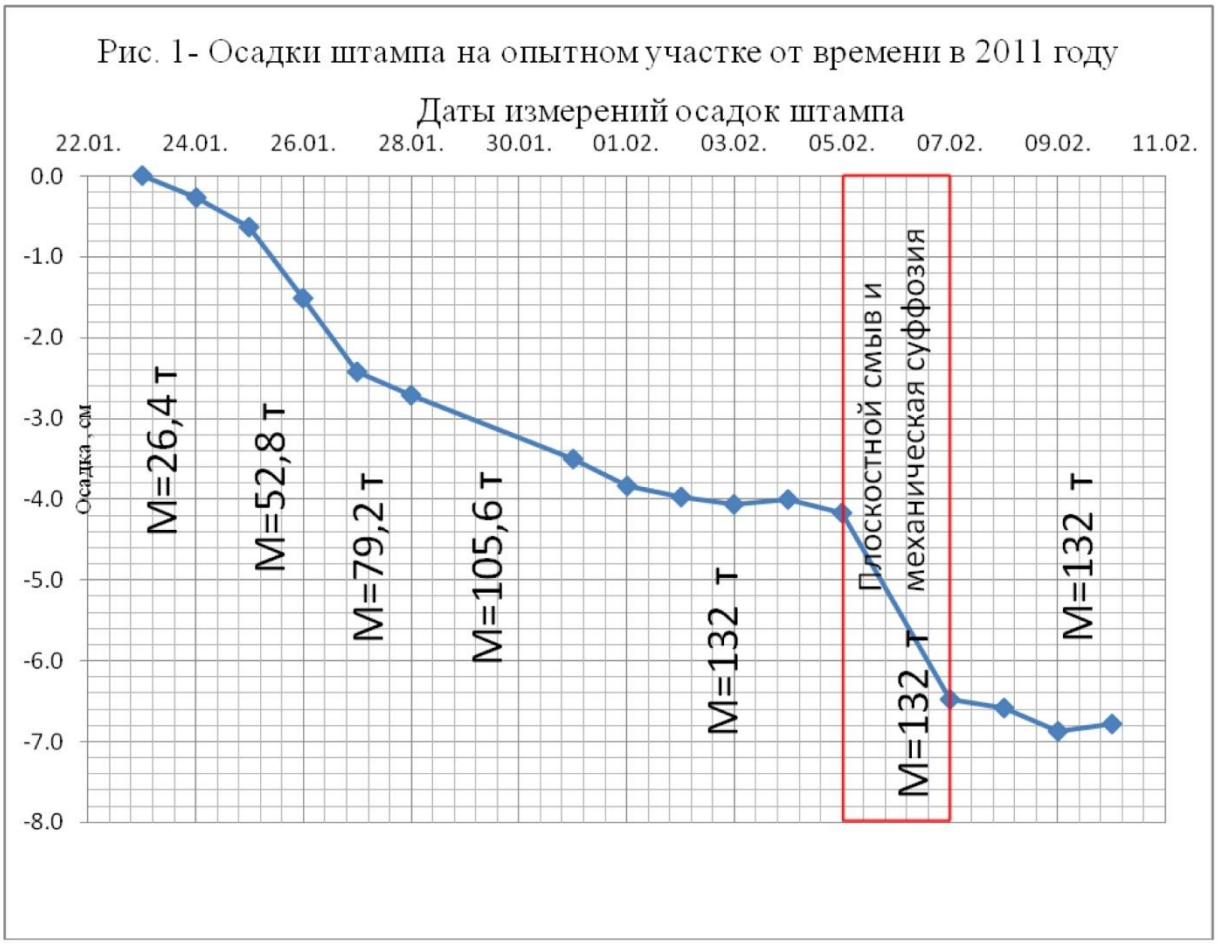


Рис. 1- Осадки штампа на опытном участке от времени в 2011 году

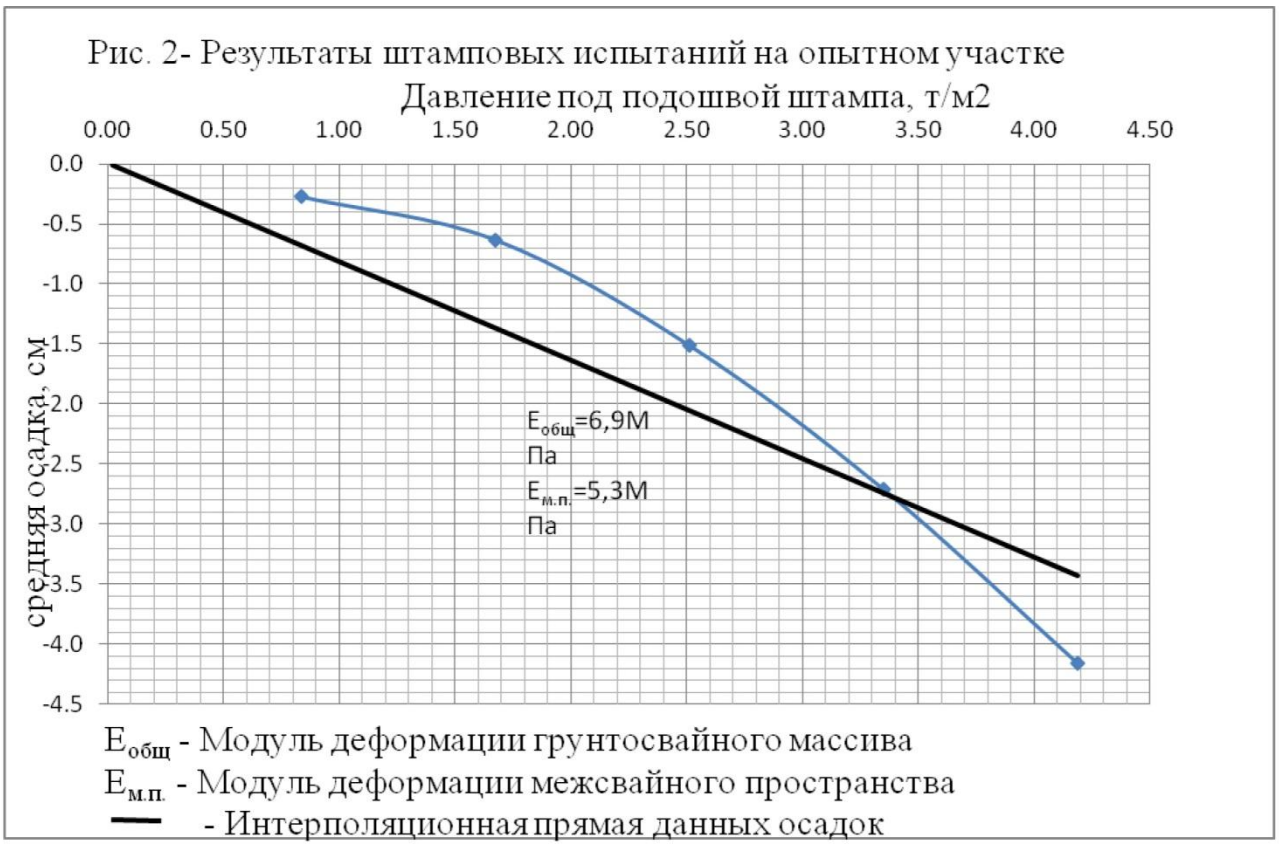


Рис. 2- Результаты штамповых испытаний на опытном участке

В результате обработки данных штамповых испытаний была получена интерполяционная прямая, характеризующая грунт основания в интервале прикладываемых нагрузок, по которой были определены общий модуль деформации усиленных грунтов $E_{общ}$ и модуль деформации межсвайного пространства $E_{м.п.}$.

Общий модуль деформации грунта основания рассчитывался на основании методики Цытовича и Шлейхера[5] по формуле:

$E_{общ.} = \frac{\omega * p_0 * b * (1-\nu^2)}{s}$, где

ω – коэффициент, зависящий от формы площади и жесткости штампа, принимаемый в данном случае равным 1,18; p_0 – напряжение по подошве штампа, соответствующее 4,2 т/м^2 для последней ступени загружения; b – ширина штампа, принимаемая 525 см; ν – коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,3; s – осадка штампа, принимаемая по интерполяционной прямой.

Модуль деформации межсвайного пространства рассчитывался из предположения:

$E_{м.п.} = \frac{E_{общ} * S_{шт} - 5 * E_{св} * S_{св}}{S_{шт} - 5 * S_{св}}$, где

$S_{шт}$ – площадь поверхности штампа; $S_{св}$ – площадь поперечного сечения сваи; $E_{св}$ – модуль деформации сваи, который принимался равным 40 МПа для щебеночных свай-дрен.

Результаты штамповых испытаний и их обработки в графическом виде представлены на Рис. 2. Анализ данных свидетельствует о том, что общий модуль деформации усиленных грунтов $E_{общ}$=6,9 МПа; модуль деформации межсвайного пространства $E_{м.п.}$=5,3 МПа.

Полученные данные подтверждают гипотезу об эффективности примененной технологии для решения задач по консолидации слабых грунтов квартала «С» Имеретинской низменности с повышением модуля их деформации до значения более 5 МПа.

Список литературы

1. *О.И. Рубцов, А.Л. Крыжановский, М.С. Савин, Н.С. Просорова.* Технология устройства песковпресованных свай. М.: Вестник МГСУ №4 2010г.
2. *О.И. Рубцов, А.Л. Крыжановский, Е.К. Конюхова, Д.А. Кассин, М.С. Савин.* Технология «Песконасос», область практического использования в решении Задач фундамент М.: Вестник МГСУ №4 2010г.
3. *И.В. Рубцов, В.А. Грошев, С.Я. Новиков, С.К. Варламов.* Экспериментальные исследования степени повышения несущей способности песчаных грунтов основания при использовании технологии "Песконасос". М.: Вестник МГСУ №4 2010.
4. *И.В. Рубцов, А.Л. Крыжановский, О.И.Рубцов, Р. Негахдар Могаилу.* Технология "Песконасос" - аргументы и факты. М.: Журнал "ПГС" №3 2006.
5. *С.Б. Ухов; В.В. Семенов; В.В. Знаменский; З.Г. Гер* – Мартиросян; С.Н. Чернышев. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: АСВ, 1994г.
6. ГОСТ 20276-99 "Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости".

05.26.02

И.В. Рубцов к.т.н., А.М. Галушко, Е.Д. Лавриненко к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, pik-mgsu@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА НА ЖИЛЫЕ КИРПИЧНЫЕ ЗДАНИЯ, НА ПРИМЕРЕ ЗДАНИЯ ОБЩЕЖИТИЯ В Г.САМАРЕ

В статье представлены результаты натурных экспериментов по определению вибрационного воздействия на жилое кирпичное здание, произведен анализ его влияния как на само здание (механическое воздействие), так и на находящихся в нем людей (из санитарно - гигиенических требований).

Ключевые слова: *Вибрационное воздействие, виброскорость, виброускорение, мониторинг.*

Урбанистическая городская среда предопределяет наличие различного рода воздействий на составляющие её объекты. Одним из проявлений воздействий среды на объект является вибрационное воздействие. Вибрация оказывает на конструкцию здания механические воздействия, вызывая тем самым изменение ее состояния. На состояние конструкции влияют, как пиковые, так и накопленные усталостные изменения материала. Помимо изменений состояния самой конструкции вибрация вызывает изменения свойств грунта, на котором установлено здание. Вибрации оказывают влияние, как на сам строительный объект, так и на находящихся в нем людей. В связи с этим встает задача по организации систем мониторинга за уровнем вибраций, в жилых зданиях. Первым этапом такого мониторинга является техническое обследование, позволяющее выявить наиболее значительные частоты и амплитуды колебаний, с целью выбора средств наблюдений при дальнейшем инструментальном мониторинге, осуществляемом в непрерывном или периодическом режиме.

В августе 2012 г специалистами МГСУ было проведено комплексное техническое обследование кирпичного 4 этажного здания общежития Самарского колледжа предпринимательства и строительства. Одной из задач обследования являлась задача по определению вибрационного воздействия на здание. Здание располагается в непосредственной близости от действующей линии метрополитена (расстояние порядка 10м). Во время прохождения поездов метрополитена уровень вибрации достаточно высок, чтобы ощущаться тактильно (дрожание стены при проезжающем поезде ощущается рукой).

В ходе исследования был замерен уровень вибрационного воздействия на здание и произведен анализ его влияния. В ходе исследования был определен уровень, вызываемой поездами метрополитена вибрации, произведен частотный анализ полученных данных.

Серии замеров проводилась при помощи специальной виброметрической аппаратуры. Замеры вибрации проводились по ближней к проходящему тоннелю стене. Во время замеров производились измерения среднеквадратичных, эквивалентных и пиковых уровней виброускорения, частотного анализа сигналов с целью оценки влияния вибрации на человека на производстве, в жилых и общественных зданиях. Прибор состоит из измерительно-индикаторного блока ИИБ-110А первичных преобразователей и датчика вибрации. В ходе полевых работ были осуществлены две серии замеров, как во время прохождения электропоезда, так и во временном промежутке между поездами, когда конструкции здания испытывают только фоновые шумовые эффекты. Результаты замеров были подвергнуты частотной коррекции в соответствии с ГОСТ 31191.1-2004[1]. В качестве корректирующей была применена функция частотной коррекции Wd для измерения общей вибрации в

горизонтальном направлении (ось x или y), воздействующей на человека в положении сидя, стоя или лежа. Данная характеристика учитывает влияние вибраций на здоровье и степень комфорта человека.

Сравнение 1/3 октавных спектров, осредненных по каждой из двух серий замеров, представлены на Рис. 1. На представленном рисунке хорошо прослеживается спектральный состав дополнительной вибрации, вызываемой поездом метрополитена. Основные частоты располагаются в диапозоне от 25 до 100Гц, что хорошо согласуется с многочисленными проводимыми ранее исследованиями в этом направлении [4]. Абсолютные значения амплитуд вибромеперемещий, виброскоростей и виброускорений, вызываемые проезжающими поездами метрополитена показаны на Рис.2-4. Максимальные амплитуды колебаний, в соответствии с проведенными замерами, составляют порядка 1,4 мкм при частоте 50Гц.

Полученные амплитуды не вызывают существенных дополнительных динамических напряжений в строительных конструкциях. Во-первых, значения виброскоростей оказываются в пределах допусков на предельные значения вибраций для жилых зданий и зданий, (категория 2) приведенным в Приложении Б ГОСТ Р 52892-2007[2]. Во-вторых, частоты вынужденных колебаний достаточно далеки от основных характерных резонансных частот зданий (которые обычно лежат в диапазоне от 1 до 10 Гц) и не могут вызывать его резонансное раскачивание.

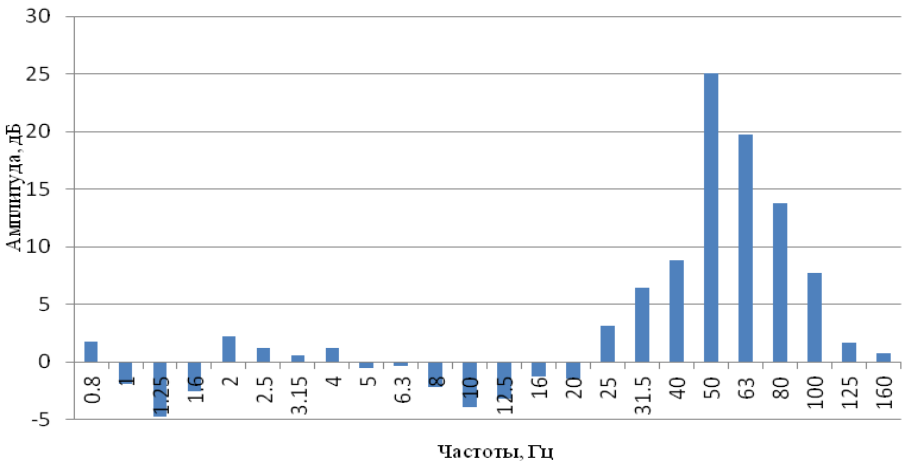


Рис. 1- Соотношение амплитуд вибраций при проезжающем метро с фоновым шумом

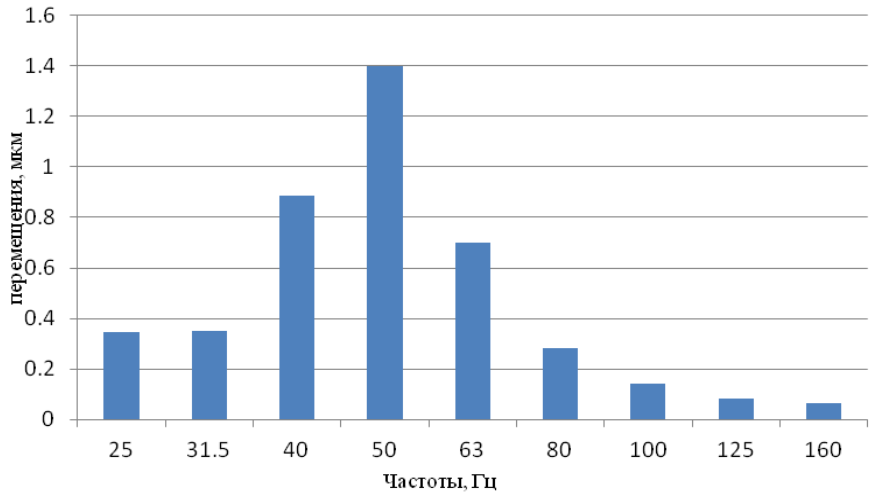


Рис. 2- Амплитуды виброперемещений от проезжающего поезда метро

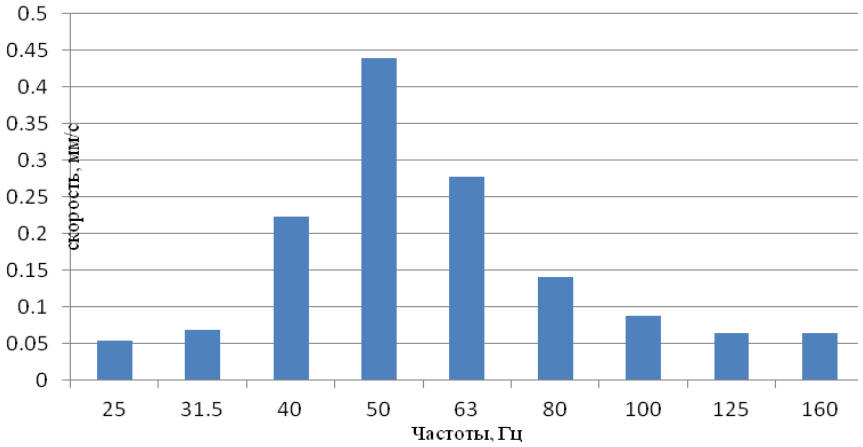


Рис. 3- Амплитуды виброскоростей от проезжающего поезда метро

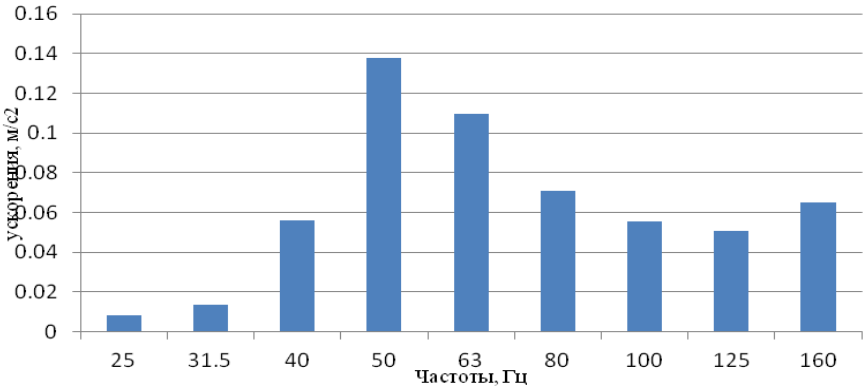


Рис. 4- Амплитуды виброускорений от проезжающего поезда метро

В тоже время амплитуды виброускорений достигают 14 см/с^2, что в разы превышает предельные допустимые значения установленные санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.566-96[3] для жилых зданий. В соответствии с таблицей 9 [3] допустимые значения виброускорения для частоты 31,5 Гц составляют 0,022 м/с^2, для частоты 63 Гц 0,045 м/с^2. Посредством интерполяции получаем, что для частоты 50 Гц допустимым значением будет 0,036 м/с^2. Полученные в ходе замеров значения превышают предельные в 3,9 раза.

Проведенные исследования показали, что проезжающие поезда метрополитена вызывают ощутимые вибрации близ расположенного здания. Колебания такой интенсивности могут раздражающе действовать на людей. В тоже время динамическое влияние на строительные конструкции невелико. Воздействие оказывается в пределах допусков соответствующих нормативных документов и его можно не учитывать при оценке прочности конструкций здания.

Список литературы

1. ГОСТ 31191.1-2004 Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека.
2. ГОСТ Р 52892-2007 Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию
3. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
4. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия/ М.Ф. Барштейн, Н.М. Бородачев, Л. Х. Блюмина и др.; Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с. – (Справочник проектировщика).

05.13.18

И.Е. Сахаров к.т.н., А.Е. Мозохин

Компания ООО «РЕГУЛ+» - резидент Инновационного цента «Сколково»,
г. Санкт-Петербург, sanmoz@mail.ru

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ РАБОТЕ С ХРАНИЛИЩАМИ ДАННЫХ

В работе описаны современные методы оценки производительности КИС и представлена разработанная математическая модель с учетом интенсивности потока информации и коэффициента загрузки узлов КИС.

Ключевые слова: *оценка, тест производительности КИС, коэффициент загрузки, коэффициент масштабирования, математическая модель КИС.*

Основу информационной системы составляют вычислительная система, включающая аппаратную часть, системы хранилищ данных и различное программное обеспечение. Типовой процедурой при внедрении или модернизации информационной системы является оценка необходимого быстродействия системы в целом, и планирование необходимых программных и аппаратных ресурсов для ее реализации. В настоящее время не существует точного решения такого класса задач. Поэтому большинство существующих методов основывается на том или ином типе тестирования уже созданной информационной системы.

Оценка производительности современных хранилищ данных характеризуется двумя основными параметрами: скоростью загрузки данных и выполнения расчётов, и скоростью получения отчётов. Эффективность принятия решений по архитектуре информационной системы одинаково зависит от обоих параметров. За последние несколько лет производительность хранилищ данных стала существенно падать. Сегодня сложные инструменты позволяют интегрировать данные практически в режиме реального времени. Все большее количество пользователей применяют удобные в обращении средства бизнес-аналитики (Business Intelligence). Объёмы хранилищ данных растут с невероятной скоростью.

Самым авторитетной организацией проводящей универсальные интегральные тесты является TPC (Transaction Processing Performance Council – Совет по Обработке Транзакций, созданной для исследования обработки транзакций и производительности систем управления базами данных (СУБД) и распространения объективной и воспроизводимой информации о производительности в тестах TPC для компьютерной индустрии.

В настоящее время тесты TPC включают не только техническую спецификацию, но и формализованную процедуру проведения тестов, представления результатов, а также обязательный аудит результатов независимой аудиторской компанией. Можно не соглашаться с техническими аспектами тестов и их соответствием реальным условиям эксплуатации бизнес приложений, но TPC является наиболее авторитетной в мире организацией по тестированию производительности и ее результаты действительно независимы и воспроизводимы.

TPC использует следующие параметры для оценки производительности хранилища данных: время загрузки базы данных, время использования запросов и время сопровождения (обновление и изменения данных)

Существуют стандарты оценки производительности. Наиболее широкое распространение получил стандарт TPC-H. Тест TPC-H оценивает производительность Систем Поддержки Принятия Решений. Основная метрика - QphH (TPC-H Composite Query-Per-Hour Performance) публикуется совместно с указанием размера базы данных - TPC-H QphH, изменяемый в пределах от 1 до 10 тыс. Гбайт. Вторая метрика

«цена/производительность» (TPC-H Price/Performance Metric) измеряемая в долл./QphH также относится к размеру базы данных TPC-H Price-per-QphH. На сегодняшний день количество уже протестированных систем невелико.

Однако современные тенденции развития хранилищ данных привели к тому, что архитектуры систем включают гораздо большее количество таблиц (чем это предусмотрено в стандарте TPC-H), а также ушли от чистой третьей нормальной форме к разновидностям схем типа «звезда». Следующим этапом развития стало появление стандарта TPC-DS. TPC-DS отводит главное место возможности системы включать новые данные по мере роста объемов исходных данных. Очевидно, что включение теста операцией по работе с данными (трансформацией на основе SQL) позволяет говорить о TPC-DS как о первом отраслевом стандарте для оценки ETL-процессов (**E**xtraction – извлечение данных из внешних источников в понятном формате, **T**ransformation – преобразование структуры исходных данных в структуры, удобные для построения аналитической системы, **L**oading – загрузка данных в хранилище). Так, в отличие от стандарта TPC-H в расчёте основного параметра оценки производительности системы по TPC-DS (Query-per-Hour Performance Metric at Scale Factor – показатель производительности запросов, выполненных в час, при заданном коэффициенте масштабирования) учитывается как время создания базы данных (загрузки данных), так и время на сопровождение данных (процессы ETL):

$$QphDS = SF * 360\left(\frac{198*S}{T_{QR1}+T_{DM}+T_{QR2}+0{,}01*S*T_{Load}}\right) * k \quad (1)$$

где T_{QR1} – время на выполнение запросов первой серии.

T_{QR2} – время на выполнение запросов второй серии.

T_{DM} – время на выполнение операций по сопровождению данных.

T_{Load} – время на тестирование загрузки базы данных.

S – число потоков, которые выполняются при оценке производительности.

SF – коэффициент масштабирования.

k – коэффициент загрузки узлов ЛВС

Проведение тестирования системы в соответствии с TPC-DS предусматривает выполнение двух процедур: тестирование загрузки базы данных и тестирование производительности.

Под тестированием загрузки базы данных понимается создание тестовой базы. Тестирование производительности состоит из выполнения двух серий запросов и сопровождения данных. Предлагается математическая модель предусматривает выполнение следующих функций:

1. Ввод первичной информации о системе, её характеристики.
2. Построение модели сети с компонентами.
3. Разработка схемы и порядка эксперимента.
4. Проведение экспериментальных работ.
5. Анализ результатов эксперимента.
6. Определение интенсивности обслуживания потока транзакций.
7. С помощью разработанной системы поддержки принятия решения (СППР) вывод заключения о состоянии и возможности функционирования КИС в рамках данной модели.

Определение технических характеристик, свойств и состояния, которыми обладает корпоративная информационная система в рамках исследуемой сети, и измерении на их основе значений коэффициентов загрузки узлов КИС и интенсивности поступления потока транзакции, есть основная цель методики, которая подтверждена экспериментальными исследованиями функционирующей КИС. Были получены дневные дампы потока трафика, которые содержали необходимые для обработки параметры. Расхождение в размерах дампов наблюдается во время естественных производственных циклов, связанных с перерывами на обед, пересменами и естественное уменьшение интенсивности потока в вечерние и ночные часы.

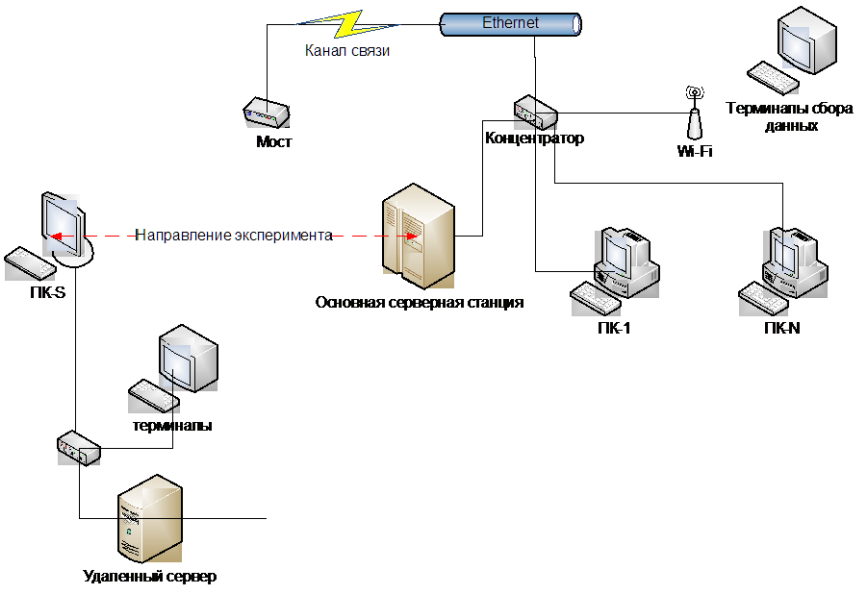


Рис. 1. Схема эксперимента.

Результаты, которые были получены в ходе экспериментов (рис.1), интенсивность поступления транзакций варьируется в зависимости от режимов функционирования. В определенные периоды времени интенсивность обслуживания сообщений повышается, а в другие периоды напротив понижается. В результате для расчетов был включен экспериментально полученный коэффициент загрузки узлов КИС, который определяется по формуле:

$$k = \frac{\lambda}{\mu} \qquad (2),$$

λ - интенсивность транзакций, которые можно определить по формуле:

$$\lambda = \frac{N}{T} \qquad (3),$$

где N – количество сообщений, T – интервал времени,

μ - интенсивность обслуживания транзакций.

Тесты TPC на сегодняшний день являются лучшими тестами для оценки производительности систем, построенных по клиент-серверным технологиям. Данные тесты позволяют проводить анализ предлагаемых производителями технологий и решений и сравнивать их между собой, а благодаря исследованию отдельных узлов системы и вычисления интенсивности потока транзакций для каждого из объектов сети, а так же коэффициента загрузки узлов КИС точность результатов значительно увеличивается.

Список литературы

1. *Абросимов Л.И.* Методология анализа вероятностно-временных характеристик вычислительных сетей на основе аналитического моделирования. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук . Москва.: МЭИ, 1996.
2. Оценка производительности программно-аппаратных решений http://elashkin.com/attach.asp?a_no=72.
3. Magic Quadrant for Business Intelligence Platforms 6 February 2012 ID: G00225500 Analyst(s): John Hagerty, Rita L. Sallam, James Richardson. http://businessintelligence.info/docs/estudios/Magic-Quadrant-for-Business-Intelligence-Platforms-2012.pdf.
4. Raghunath Nambiar, Meikel Poess. The Making of TPCDS http://www.tpc.org/tpcds/presentations/The_Making_of_TPCDS.pdf
5. Meikel Poess, Raghunath Nambiar, David Walrath Why you should run TPC-DS: A workload analysis. http://www.tpc.org/tpcds/presentations/TPCDS_Workload_Analysis.pdf

05.23.01

И.М. Селянцев

МГСУ, ИСА, факультет ПГС, кафедра Металлических Конструкций,
Москва, iselyantsev@nepso.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КОНТУРА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА РАБОТУ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

В докладе приводятся результаты эксперимента на стесненное кручение тонкостенных стержней открытого профиля компании VoestAlpine. Анализируется влияние деформации контура поперечного сечения на работу указанных стержней. Даются практические рекомендации по типам закрепления стержней. Определяется диапазон стержней $kl = \sqrt{\frac{G\,Jt}{E\,Jw}}\,l$*, в котором не учёт факта деформации контура поперечного сечения стержня, приводит к допустимой, с инженерной точки зрения, погрешности вычисления напряжений и углов поворота сечения.*

Ключевые слова: *ЛСТК, чистое кручение, стеснённое кручение.*

В последнее время при строительстве малоэтажных зданий, все большую популярность завоевывают конструкции из легких гнутых стальных тонкостенных профилей.

Характерной особенностью использования гнутых тонкостенных профилей в подобных конструкциях является необходимость учета не только продольных и изгибных деформаций, но также и деформаций кручения.

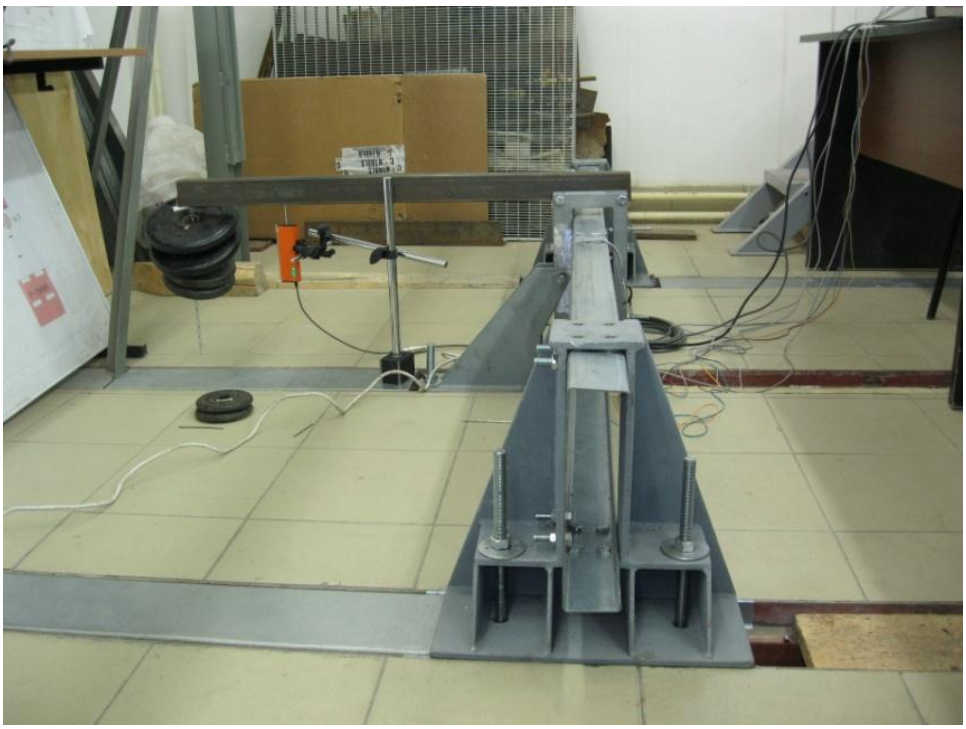
На данный момент практикуется два подхода к расчету конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля. Один из них основан на прикладной теории закритической несущей способности [1], другой, основан на теории тонкостенного стержня разработанной В.З. Власовым [2]. В первом случае расчет ведется после потери стенкой или полками местной устойчивости, при использовании второго подхода контур поперечного сечения тонкостенного профиля считается недеформируемым. Оба подхода не учитывают, для гнутых стальных тонкостенных профилей, возможность, постепенного изменения формы своего поперечного сечения пропорционально действующей на него нагрузке.

В связи с этим необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований влияния на работу тонкостенных профилей деформации контура поперечного сечения.

Прежде всего, необходимо выяснить диапазон жесткостных характеристик и длин профилей, в котором факт не учёта деформаций контура поперечного сечения приводит к существенной с инженерной точки зрения погрешности в вычислениях. Также нужно оценить влияние на искривления контура наложенных на него связей и типа приложенной нагрузки.

С целью ответа на указанные вопросы был проведён ряд экспериментов на стесненное кручение тонкостенных стержней при различных типах закрепления стержня.

Для эксперимента была спроектирована установка (рис.1).



«Рис.» 1- Испытательная установка

Стержень закрепляется в узлах по концам. Оценивается пять типов закрепления. Жёсткое закрепление по полкам и стенке, жёсткое закрепление по стенке и нижней полке, жёсткое закрепление по стенке, жёсткое закрепление по верхней и нижней полке и жёсткое закрепление по нижней полке. Жесткое закрепление реализовывалось с помощью крепления полок и стенок к узлу с помощью четырех болтов. Болты затягивались с достаточным усилием для полного стеснения депланаций полок и стенок стержня в месте крепления. Предварительная оценка в ANSYSe показала применимость данного подхода.

Крутящий момент прикладывается к среднему сечению стержня с помощью нагрузочного узла. Рама нагрузочного узла передаёт крутящий момент на среднее сечение стержня в виде пары сил, приложенных к стенке стержня близко к её соединению с полками. Рама нагрузочного узла поворачивается вместе со средним сечение стержня относительно центра изгиба стержня, что необходимо для отсутствия стеснения депланаций стержня. Величины угла поворота центрального сечения определяются с помощью замера перемещения консоли нагрузочного узла. Экспериментальные величины θ сравниваются с теоретическими значениями, вычисленными по теории тонкостенного стержня Власова.

В ходе эксперимента определялись деформации стержня в сечении, отстоящем от центра стержня на 260мм. Деформации определяются с помощью четырёх тензодатчиков наклеенных по краям верхней и нижней полок стержня. По полученным величинам деформации определяются четыре внутренних силовых фактора в указанном сечении стержня N, My, Mz и Bω. Экспериментальная величина Bω сравнивается с теоретической величиной, вычисленной по теории тонкостенного стержня Власова.

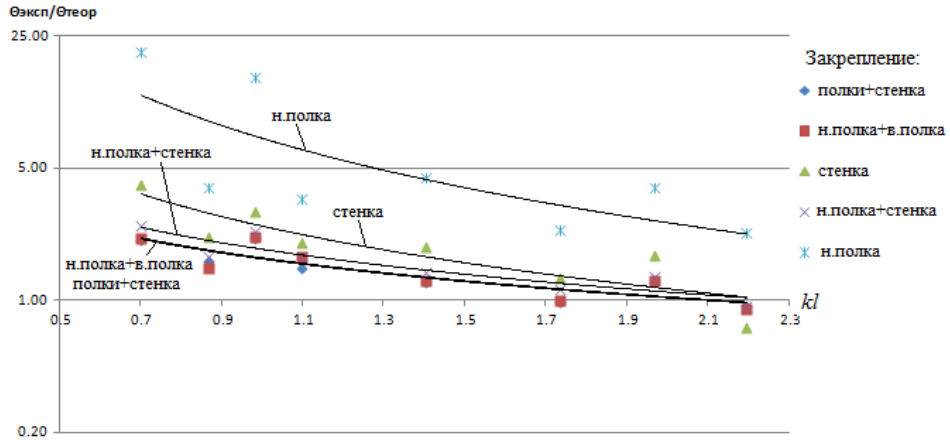
Испытываются тонкостенные холоднокатаные стержни компании VoestAlpine. Длинна стержней 2 и 4 метра. Сечения С образных профилей с отгибами 142С1.6, 142С2.0, 262С2.3, 262С2.9. Где первая цифра обозначает высоту профиля, последние две цифры толщина профиля в миллиметрах. Ширина полки для профиля высотой 142мм составляет 60мм, для профиля высотой 262мм составляет 65мм. Величина отгиба для всех профилей 13мм.

Испытанные профили лежат в диапазоне kl от 0.7 до 2.2, что покрывает проблемную часть практически важного диапазона kl стержней используемых на практике для прогонов и стеновых прогонов. Например, рекомендованные компанией VoestAlpine профили для прогонов и стеновых прогонов лежат в диапазоне kl от 0.9 до 4. Причем самые развитые профили, например профиль 342С27 длинной 12 метров имеет величину kl=2.54 (рис. 2).

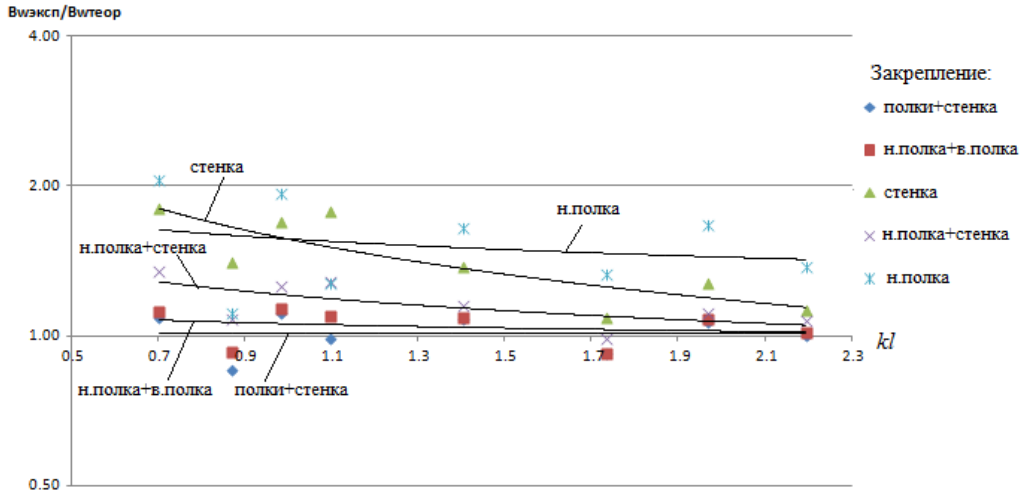
Проф.	*l* м.	*kl*
142С16	2	0.868
142С20	2	1.098
262С23	2	0.702
262С29	2	0.984
142С16	4	1.736
142С20	4	2.196
262С23	4	1.404
262С29	4	1.968

«Рис.» 2- Значения kl для испытанных профилей

Результаты испытаний представлены на графиках Рис.3 и Рис4.



«Рис.» 3- Влияние деформации контура поперечного сечения на углы поворота



«Рис.» 4- Влияние деформации контура поперечного сечения на величину бимомента

Выводы: Результаты показывают, что при проектировании конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля необходимо учитывать деформации контура поперечного сечения стержня. Наибольшее внимание следует уделять стержням, лежащим в практически важном диапазоне kl от 0.7 до 2.5. Не учет факта деформации контура поперечного сечения может привести к ошибке в расчете углов поворота сечений стержня до 10 раз, в зависимости от условий закрепления стержня и его характеристики kl. При расчете напряжений от стеснённого кручения ошибка, в зависимости от условий закрепления стержня и его величины kl, может составлять до 2 раз. При kl от 2.5 деформацией контура поперечного сечения можно пренебречь, за исключением случая, если стержень закреплён только по одной полке.

Из результатов эксперимента видно, что наибольшая разница между экспериментальными результатами и теоретически рассчитанными величинами возникает при закреплении стержня только по одной полке. Минимальная погрешность получается при креплении стержня по обоим полкам и стенке. Поэтому, для практических целей, можно рекомендовать избегать крепления стержней только по одной полке, а закреплять стержень максимально возможным способом.

Список литературы

1. *Брудка Я.* Легкие стальные конструкции - М.: Стройиздат, 1973. 341с.
2. *Власов В.З.* Тонкостенные упругие стержни.- М.: Физматгиз, 1959. 568 с.

05.12.04

[1]Е.А. Семенищев к.т.н., [2]Д.И. Тазетдинова к.б.н., [3]А.В. Писарев, [4]С.В. Жук, [5]Д.А. Тарасов

[1]ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», г. Шахты, sea.sea@mail.ru

[2]ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, tazetdinova.di@gmail.com

[3]ФГАОУ ВПО «Волгоградский государственный университет», Волгоград, pisarev@volsu.ru

[4]«Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, kuduk@land.ru

[5]ООО «Газпром добыча Астрахань», Астрахань, tarasovdear@gmail.com

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ВЫСОКОДЕТАЛИЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В работе предложены способы определения областей с высокой детализацией на изображении. Приведён алгоритм работы полученных способов. Показана эффективность определения высокодетелизированных областей, представлены результаты влияния изменения масштаба детализированного участка к его определению.

Ключевые слова: *изображения, детализация, масштаб.*

Современные системы автоматического управления на основе видеорегистраторов нашли широкое распространение в различных комплексах и устройствах. Изображения, полученные с выхода светочувствительных матриц фото и видеокамер подвержены воздействию различных искажений, таких как шум, смаз, потеря части изображений в результате засвета и т.п. В ряде случаев обработка всего изображения не имеет практического смысла, так как требует вычислительных затрат. Для уменьшения требований к производительности оборудования, а также для исследований только детализированных объектов сцены требуется разработка способов их определения [1, 2, 5]. В связи с чем, разработка алгоритмов позволяющих повысить быстродействие имеющихся систем и комплексов является актуальной задачей.

Целью работы является разработка и исследование способов выделения высокодетализированных участков на изображениях сцены полученных с выходов цифровых видеорегистраторов.

Для определения областей высокой детализации будем производить исследование изображения по границам контуров. В результате анализа литературных источников выявлено, что основными методами детектирования границ и углов на изображениях, применяемыми на практике, являются детекторы Робертса, Собела, Превитта, Лапласса, Кирша, Laplacian of Gausssian (LOG), Difference of Gaussians (DOG), Канни, Харриса [1,2]. Исходя из анализа методов детектирования границ, полученных в работах [3,4], для выделения границ объектов на изображении воспользуемся детектором Канни, показавший высокую эффективность как при визуальном анализе, так и при исследованиях количественных показателей на различных типах изображений[3,4].

Для определения детализированных областей введем способы поиска областей с высокой детализацией: «Отношение белое/черное», «Отношение количества переходов», «Плотность».

Способ «Отношение белое/черное» основан на том, что в скользящем окне находится отношение количества белых пикселей $N_{белых}$ к количеству черных $N_{черных}$. Затем полученное значение сравнивается с порогом P (коэффициентом детализации). Если отношение $\frac{N_{белых}}{N_{черных}} \geq P$ превышает порог, то принимается решение о детализированности данного окна. Установка порога производится согласно заданным условиям о количестве границ попадающих в исследуемую область. На основании эксперимента установлено, что количество границ не должно быть менее двух в одном окне что соответствует $N_{белых}(N_{черных}) \geq 0{,}2 \cdot i \cdot j$, где i – количество строк; j – количество столбцов. Далее окно сдвигается на пиксель. Опытным путем было выявлено, что наилучшими размерами окна, подходящими для данной задачи, является окно размером 5% от целого изображения. С целью ускорения работы способа, предложен алгоритм, пропускающий «пустые» окна (с отсутствующими контурами) из последующего анализа.

Способ «Отношение количества переходов» заключается в подсчете количества переходов N между границами в четырех направлениях матрицы скользящего окна: серединного столбца и строки, а также на главной и побочной диагонали матрицы. Полученное значение сравнивается с коэффициентом детализации $\sum N_{строка} + \sum N_{столбец} + \sum N_{гл.диагональ} + \sum N_{побочдиагональ} \geq P$. Далее производится сдвиг окна. Как и в случае со способом «Отношение белое/черное» окно выбирается размером 5% от целого изображения.

При поиске детализированных объектов способом «Плотность», на первом этапе считается общий коэффициент детализации всего изображения $\frac{\sum I(x,y)}{i \cdot j} = P_{общий}$, где $I(x,y)$ - значение пикселя с координатами *x* и *y*.

Коэффициент детализации $P_{общий}$ определяется автоматически для каждого изображения и его подбор не требует эмпирического вмешательства. Далее вычисляется плотность в каждом скользящем окне $\frac{\sum I(x,y)}{0.1 \cdot i \cdot j} = P_{окна}$, 0,1 - коэффициент усреднения, связанный с автоматическим выбором размера окна, равного 10% от общего изображения. Плотности $P_{общий}$ и $P_{окна}$ сравниваются и принимается решение о детализированности в данном окне после чего производится его сдвиг. Для увеличение скорости поиска высокодетализированных объектов, также возможен пропуск «пустых» окон из последующего анализа.

На рисунке 1 приведены алгоритмы работы приведённых способов поиска областей с высокой детализацией на изображении.

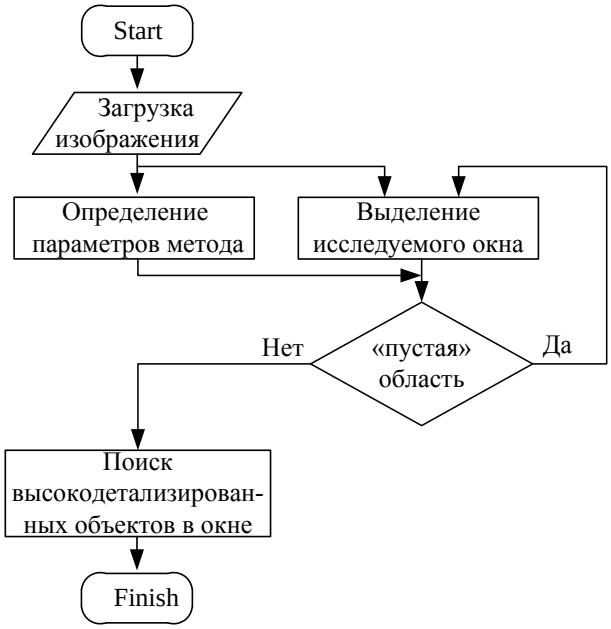
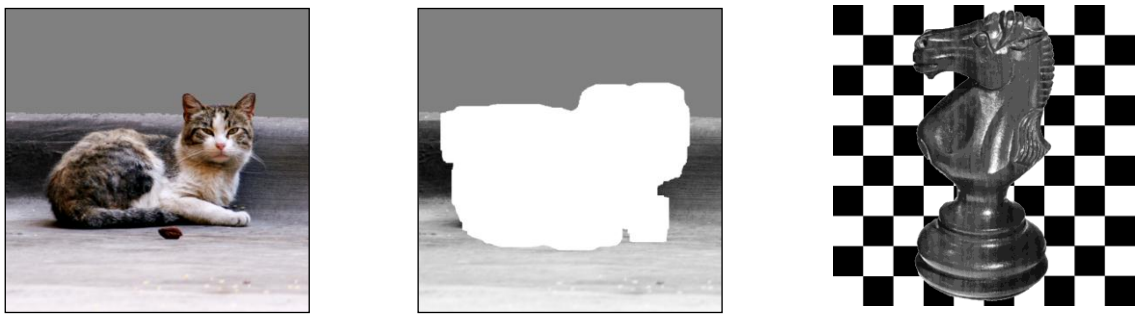


Рисунок 1. Алгоритм работы предложенных способов.

Алгоритм приведённый на рисунке 1 может реализовать способы «Отношение белое/черное» и «Плотность». На первом шаге алгоритма производится загрузка изображения. На следующем шаге производится определение размеров окна обработки и параметров способов: расчёт или загрузка коэффициента детализации P; расчёт количества строк и столбцов; расчёт общей плотности для изображения $P_{общий}$. На третьем шаге проверяется условие «пустого» окна, в случае отсутствия границ в исследуемой области, данный участок исключается из последующего анализа изображения. На следующем шаге производится поиск высокодетализированных объектов выбранным методом.

На рисунке 2а и 2в представлены результаты выделения детализированных объектов предложенными методами.



а) в) с)

Рисунок 2.Пример обнаружение детализированных объектов.
а) тестовые изображения;
в) пример выделения областей с высокодетализированными объектами;
с) тестовое изображение с изменяемым размером высокодетализированной области

Для определения чувствительности предложенных способов к масштабу высокодетализированного объекта, объединим фоновое изображение с элементом высокой детализации (рисунок 2с). Изменение перекрытия высокодетализированным объектом фона будем проводить в диапазоне от 100% до 1%.

В результате анализа рисунка 2с можно сделать следующие выводы: При исследовании влияния масштаба высокодетализированного участка, с уровнем масштабирования 100 – 60%, объект составляет большую часть изображения, поэтому детализированные

участки помимо фона находятся и в нём самом; В зоне, с уровнем масштабирования объекта 59 – 7 % верно определяются объекты с высокой детализацией; В дальней зоне с уровнем масштабирования объекта менее 6% высокдетализированный объект не определяется, а детализированными уже считаются области фона.

В ходе работы разработаны способы обнаружения высокодетализированных объектов на изображениях инвариантные к повороту и положению горизонта на изображении.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы

1. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений / М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
2. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений, Мир, М., 1982.
3. *Семенищев Е.А., Шрайфель И.С., Марчук В.И., Торопов И.А* Многокритериальный метод сглаживания двумерных сигналов в условиях ограниченного объема априорной информации / Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника. 2012. № 6. С. 35-39.
4. *Семенищев Е.А., Торопов И.А., Раевская Л.Н., Толстова И.В.* Анализ методов детектирования углов и границ на изображениях / Современные проблемы радиоэлектроники.// Ростов-на-Дону 2012. с. 184-188.
5. *Семенищев Е.А., Торопов И.А., Раевская Л.Н., Толстова И.В.* Оценка эффективности методов детектирования границ на изображении / Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации.// Тольятти 2012. с.211-216.

05.05.04

А.А. Серебренников д.т.н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
г. Тюмень, satm@tsogu.ru

СПЕЦИФИКА НАГРУЗОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В ВИБРАЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЯХ

В работе рассматривается вопрос определения нагрузок подшипников качения в вибрационных смесителях. В отличие от подшипников стационарных механизмов в вибрационном механизме подшипник совершает колебания, и центр тяжести его перемещается по круговой, эллиптической или по линейной траектории. При этом возникают дополнительные силы инерции, которые оказывают влияние на работу отдельных его элементов. В совокупности дополнительные нагрузки создают неблагоприятные условия для эксплуатации вибровозбудителей и требуют при проектировании узлов подшипников выполнения специфических требований.

Ключевые слова: *подшипники качения, вибрационные смесители, вибровозбудители, сила инерции.*

Вибрационные машины нашли широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Колебания вибрационных машин осуществляются посредством вибровозбудителей (вибраторов), которые принято классифицировать по типу привода: эксцентриковый (кривошипно-шатунный), инерционный (дебалансный), электромагнитный, пневматический или гидравлический [1]. В смесителях наиболее часто используются уравновешенные эксцентриковые вибровозбудители, принудительные колебания корпуса которых осуществляются за счет использования плоской кинематической вращательной пары выполненной в виде колена (кривошипа либо эксцентриковой втулки).

В общем случае вибровозбудители выполняются на трех либо четырех опорах. Подшипники, через центры которых проходит ось вращения, называются коренными; подшипники, установленные вдоль главной центральной оси инерции колеблющихся масс вибровозбудителя - шатунными.

Шатунные подшипники подвергаются большим вибрационным нагрузкам, причем вибрацию этих подшипников необходимо рассматривать в двух аспектах: абсолютные вибрации, вызываемые колебаниями всего устройства, и относительные, связанные с колебаниями отдельных элементов подшипников (тел качения, наружного либо внутреннего кольца и сепаратора). Основными причинами относительных вибраций являются отклонения от идеальной геометрической формы рабочих поверхностей качения, радиальное биение колец, упругая контактная деформация. Изучению относительных вибраций посвящено значительное количество научных исследований. Исследования по изучению абсолютных вибраций подшипников и их влиянию на возникающие при этом дополнительные нагрузки на элементы подшипников практически отсутствуют. Ниже представлены результаты аналитического расчета абсолютных ускорений и сил инерции, которые появляются при пространственном перемещении центра подшипников вибровозбудителей.

Специфика их работы состоит в следующем. В отличие от подшипников стационарных механизмов в вибрационном механизме подшипник совершает колебания, и центр тяжести его перемещается по круговой (эллиптической) траектории либо по прямой линии. При этом возникают дополнительные силы инерции, которые оказывают влияние на работу отдельных его элементов (сепаратора, тел качения).

Круговые колебания. Неподвижная система координат XOY совмещается с центром колебаний, а подвижная система $X'O'Y'$ - с центром подшипника. Проводится рассмотрение перемещения центра тяжести тела качения, условно помещенного в точку А. В процессе работы подшипника тело качения совершает сложное движение, состоящее из переносного плоскопоступального вместе с системой $X'O'Y'$ и относительного вращательного по отношению к этой системе.

Угловая скорость ω_0 относительного движения точки А определяется по формуле:

$$\omega_0 = \omega r_b / 2(r_b + r_k),$$

где ω_0- угловая скорость абсолютного движения; r_b, r_k - соответственно радиусы внутреннего кольца и тела качения.

Полагая, что $r_b \rangle\rangle r_k$, можно получить $\omega_0 \cong \omega / 2$. Рассмотрение конструкций различных подшипников, показывает, что в этом случае погрешность расчетов не превышает 15%.

Уравнение движения точки А в проекциях на оси координат XOY запишется следующим образом:

$$x = e\cos\omega t + r\cos(\omega t / 2 + \varphi_0) \quad (1)$$
$$y = e\sin\omega t + r\sin(\omega t / 2 + \varphi_0),$$

где $r = (D+d)/4$, D,d - соответственно наружный и внутренний диаметры подшипника, φ_0 - угол, определяющий положение тела качения в подшипнике.

Величину абсолютного ускорения и угол φ, определяющий направление ускорения, как известно, можно вычислить по формулам:

$$\mathrm{W_a} = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2} \text{ и } \varphi = arctg\frac{\ddot{y}}{\ddot{x}} \quad (2),$$

где $\ddot{x}$ и $\ddot{y}$ - проекции абсолютного ускорения на неподвижные оси координат.

Зная направление и величину ускорения, можно определить силу инерции, действующую на тело качения по формуле

$$P_i = mW_a \quad (3),$$

где m - масса шарика.

Результаты аналитического расчета абсолютных ускорений и сил

Направленные колебания. Уравнение движения точки А в проекциях на оси координат запишется в виде:

$$x = r\cos\left(\frac{\omega t}{2} + \varphi_0\right);$$

$$y = e\sin(\omega t) + r\sin\left(\frac{\omega t}{2} + \varphi_0\right).$$

Величина абсолютного ускорения, угол φ, определяющий направление ускорения, и сила инерции, действующая на тела качения рассчитываются по формулам (2) и (3).

Очевидно, что силы инерции, действующие на тела качения подшипника, в процессе работы вибровозбудителей не только отклоняются от радиального направления, характерного для стационарного режима, но и меняют свое направление. При этом в отдельных положениях тел качения они создают моменты, способствующие качению, а в других - препятствующие. Появляющиеся при этом касательные составляющие сил инерции создают дополнительные силы трения на контакте тело качение-сепаратор и, следовательно, дополнительные моменты сопротивления вращению.

Необходимо провести оценку дополнительной силы трения.

В разгруженной зоне подшипника движение тел качения осуществляется сепаратором. Величина силы P_c, действующей со стороны сепаратора на шарик, определяется равенством движущего и тормозного моментов:

$$P_c = \frac{fP_i \cos\alpha}{r_k},$$

где P_i - максимальная сила инерции; f - коэффициент трения качения; α - угол между направлением силы инерции и радиусом, соединяющим центр подшипника и тела качения; r_k - радиус тела качения. Касательная составляющая силы инерции шарика равна $P_i^k = P_i \sin\alpha$.

Суммарная сила, возникающая на контакте тело качения – сепаратор, равна

$$\sum P = \frac{fP_i \cos\alpha}{r_k} + P_i \sin\alpha.$$

Угол α по абсолютной величине изменяется в пределах от 18 до 22 градусов и, следовательно, наличие касательной составляющей увеличивает момент сопротивления вращению тела качения на 30 процентов.

Оценку дополнительных нагрузок на элементы подшипника целесообразно производить в относительных единицах по формуле:

$$P^* = \frac{P_i - P_i^0}{P_i^0} \times 100\,\%,$$

где P_i, P_i^0 - соответственно силы инерции при вибрационном и стационарном режимах работы подшипника.

Кроме того, существенный вклад в увеличение моментов сопротивления вращению подшипника вносит дополнительная сила трения, возникающая, в зависимости от способа центровки, на контакте сепаратор - борт внутреннего (наружного) кольца. Момент трения определяется по формуле:

$$M \approx m_c f \omega^2 D_б e \left(\frac{D - d\cos\lambda}{D} \right)^2,$$

где e - эксцентриситет сепаратора по отношению к оси вращения, возникающий в результате неточностей изготовления; m_c - масса сепаратора; $D_б, D, d$ - соответственно диаметр борта кольца подшипника, диаметры по центрам тел качения ($D = 2r$) и тела качения; λ - угол между линией приложения нагрузки и центром шарика.

Учитывая высокий класс точности изготовления подшипников качения, эксцентриситет не должен превышать 0,05мм.

Представленные аналитические расчеты позволяют сделать следующие выводы:

абсолютные вибрации приводят к возникновению дополнительных сил инерции, что содействует увеличению моментов сопротивления вращению подшипников качения;

наибольшее влияние на относительное изменение инерционных нагрузок, действующих на тела качения, оказывает увеличение амплитуды колебаний; при амплитудах колебаний 2...6 мм, характерных для уравновешенных эксцентриковых вибровозбудителей, увеличение инерционных нагрузок на тела качения составляет 40...50%;

наибольшее влияние абсолютные вибрации оказывают на увеличения момента сопротивления вращению сепаратора.

В совокупности рассмотренные дополнительные нагрузки создают неблагоприятные условия для эксплуатации вибровозбудителей и требуют при проектировании узлов подшипников выполнения следующих условий:

применение жидкой смазки с принудительной циркуляцией;
радиаторов для охлаждения узла подшипника;
назначение более высоких коэффициентов запаса при расчете подшипников.

Список литературы

1. *Серебренников А.А.* Основы конструирования и проектирования вибрационных смесителей. – Тюмень: ТюмГНГУ. – 2012. – 160 с.

05.05.04

А.А. Серебренников д.т.н., З.Р. Хакимов

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
г. Тюмень, satm@tsogu.ru

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОДВИЖЕНИЮ РАБОЧЕГО ОРГАНА БЕСТРАНШЕЙНОГО ТРУБОУКЛАДЧИКА

В статье рассматривается вопрос определения нагрузок на рабочий орган машины при укладке труб бестраншейным методом. Предложена математическая модель изучаемого процесса. На основе эксперимента определено усилие резания, нагрузки в элементах металлоконструкции машин, перемещения и скорости. Полученные результаты можно использовать при проектировании рабочих органов трубоукладчиков.

Ключевые слова: *бестраншейный трубоукладчик, рабочий орган трубоукладчика, усилие резания, нагрузка на рабочий орган.*

В нашей стране и за рубежом накоплен достаточно богатый опыт использования полиэтиленовых трубопроводов. Выпуск труб малого диаметра в бухтах предопределил научные и инженерные поиски в создании машин и оборудования для бестраншейной прокладки, позволяющих снизить затраты по сооружению трубопроводов. Положительными особенностями использования такой техники является сокращение объема земляных работ, увеличение скорости укладки трубы. Прежде всего, это техника для осуществления прокладки трубопроводов по принципу кабеле- и дреноукладчиков. При их использовании отсутствуют этапы создания и последующей засыпки траншеи как таковой, поэтому они получили название бестраншейных. В частности, в настоящее время для прокладки межпоселковых газопроводов используются машины и устройства с ножевым рабочим органом.

Особенностью такого рабочего органа, состоящего из двух элементов (режущего ножа и трубы), является наличие значительной боковой поверхности. Использование общеизвестных методик (Домбровского Н.Г., Ветрова Ю.А., Зеленина А.Н.) по определению значения сопротивления грунта при продвижении рабочего органа (разрушению грунта) не обеспечивает необходимой точности расчета. Объясняется это тем, что известные методики успешно применимы для рабочих органов, у которых составляющая сопротивления резанию и заполнению рабочего органа грунтом значительно выше по отношению к преодолению сопротивления трения о боковую поверхность. На основании экспериментальных исследований [1] доказано, что использование известных методик для исследуемого рабочего органа показывает отклонение до 20% при сравнении действительного сопротивления разрушению грунта и расчетного.

Из анализа процесса взаимодействия рабочего органа с грунтом можно утверждать, что на силу (P), которую необходимо создать для продвижения рабочего органа в грунте и его разрушения, влияют глубина резания (l), площадь боковой поверхности (S), ширина резания (b), скорость резания (V), плотность грунта (ρ), вязкость (μ), сцепление между частицами (c).

Размерности этих величин после отражения основных единиц измерения соответствующими обозначениями (килограмм – M, метр – L, секунда – t), представлены в таблице.

Общая функциональная зависимость силы разрушению грунта от физических параметров может быть представлена в следующем виде:

$$P = f(l, b, S, V, \rho, \mu, c, f, g) \quad (1)$$

В общую зависимость для сопоставления различных единиц измерения введено ускорение свободного падения (g).

Таблица

Параметры, влияющие на процесс разрушения грунта рабочим органом трубоукладчика

Параметры, характеризующие процесс	Обозначение	Единица измерения	Размерность
1.Глубина резания	l	м	L
2. Площадь боковой поверхности	S	м^2	L^2
3. Ширина резания	b	м	L
4. Скорость резания	V	м/с	Lt^{-1}
5. Плотность среды	ρ	кг/м^3	ML^{-3}
6. Вязкость	μ	Н с/м^2	$ML^{-1}t^{-1}$
7. Сцепление между частицами	с	Н/м^2	$ML^{-1}t^{-2}$
8. Коэффициент трения	f		-
9. Ускорение свободного падения	g	м/ с^2	Lt^{-2}
10. Усилие резания грунта	ρ	Н	MLt^{-2}

Понятно, что каждый из вышеперечисленных параметров имеет разное влияние на изменение силы. Отразив это влияние определенной степенной зависимостью можно получить соотношение:

$$P = k(l)^{n_1}(b)^{n_2}(S)^{n_3}(V)^{n_4}(\rho)^{n_5}(\mu)^{n_6}(c)^{n_7}(g)^{n_8}, \quad (2)$$

где k – некоторая постоянная.

После проставления в (2) вместо физических величин их размерностей, зависимость примет следующий вид:

$$ML^{t^{-2}} = (L)^{n_1}(L)^{n_2}(L^2)^{n_3}(Lt^{-1})^{n_4}(ML^{-3})^{n_5}(ML^{-1}t^{-1})^{n_6}(ML^{-1}t^{-2})^{n_7}(Lt^{-2})^{n_8}. \quad (3)$$

Для того чтобы уравнение (3) было однородным относительно размерностей, должны выполняться следующие соотношения между показателями степеней:

для L:$1 = n_1 + n_2 + 2n_3 + n_4 - 3n_5 - n_6 - n_7 + n_8$;

для M:$1 = n_5 + n_6 + n_7$;

для t: $-2 = -n_8 - n_6 - 2n_7 - 2n_8$.

Тогда:

$$P = k\,(l)^{2-n_2-2n_3-n_6+n_8}(b)^{n_2}(S)^{n_3}(V)^{2-n_6-2n_7-2n_8}(\rho)^{1-n_6-n_7}(\mu)^{n_6}(c)^{n_7}(g)^{n_8}. \quad (4)$$

Сгруппировав параметры с одинаковыми показателями степеней, получено:

$$P = kl^2v^2\rho\left(\frac{b}{l}\right)^{n_2}\left(\frac{S}{l^2}\right)^{n_3}\left(\frac{\mu}{lv\,\rho}\right)^{n_6}\left(\frac{c}{v^2\rho}\right)^{n_7}\left(\frac{gl}{v^2}\right)^{n_8}. \quad (5)$$

В конечном итоге получено критериальное уравнение, определяющее соотношение между искомыми параметрами:

$$\frac{\mathrm{P}}{\rho \mathrm{l}^2 \mathrm{v}^2} = \mathrm{k}\left(\frac{\mathrm{b}}{\mathrm{l}}\right)^{\mathrm{n}_2}\left(\frac{\mathrm{S}}{\mathrm{l}^2}\right)^{\mathrm{n}_3}\left(\frac{\mu}{\mathrm{lv}\,\rho}\right)^{\mathrm{n}_6}\left(\frac{\mathrm{c}}{\mathrm{v}^2\rho}\right)^{\mathrm{n}_7}\left(\frac{\mathrm{gl}}{\mathrm{v}^2}\right)^{\mathrm{n}_8};. \quad (6)$$

В полном соответствии с положениями физического моделирования получены безразмерные критерии подобия, которые могут быть варьируемы в зависимости от физических моделей и определяют условия достоверного перехода от модели к натурному образцу.

При обозначении критериев подобия:

$$\frac{P}{\rho l^2 v^2} = \Pi_0;\ \frac{b}{l} = \Pi_1;\ \frac{S}{l^2} = \Pi_2;\ \frac{\mu}{lv\,\rho} = \Pi_3;\ \frac{c}{v^2\rho} = \Pi_4;\ \frac{gl}{v^2} = \Pi_5.$$

уравнение (6) примет вид:

$$П_0 = k(П_1)^{n_2}(П_2)^{n_3}(П_3)^{n_6}(П_4)^{n_7}(П_5)^{n_8}. \quad (7)$$

Для того чтобы получить уравнение зависимости силы сопротивления разрушению грунта рабочим органом трубоукладчика от критериев подобия, необходимо определить значения степеней n_2, n_3, n_6, n_7, n_8. С этой целью при проведении экспериментальных исследований необходимо предусмотреть и обеспечить последовательное изменение каждой переменной при постоянном значении остальных.

Например, при определении степени n_3 все остальные критерии подобия, кроме $П_2$ должны оставаться постоянными. Тогда уравнение (7) примет вид:

$$П_0 = kC_0C_1C_2(П_2)^{n_3}, \quad (8)$$

где $C = kC_0C_1C_2$ - некоторая постоянная величина

Варьируя критерием $П_2$ можно получить результаты его влияния на критерий $П_0$. В логарифмической системе координат результаты эксперимента будут иметь линейную зависимость, так как $\lg П_0 = \lg C + n_3 \lg П_2$ - уравнение прямой линии ($y = ax + b$).

Отразив результаты экспериментальных данных графически по углу наклона можно определить значение n_3, а по точке пересечения прямой с осью ординат – значение С.

Для определения сил сопротивления грунта резанию при прокладке трубопровода была сконструирована лабораторная установка «Грунтовый канал» (рис. 1). Рабочее оборудование установки состоит из лотка-контейнера 1, который жестко смонтирован на несущей раме. Несущая рама имеет жесткую пространственную конструкцию из двутавров, на которой наряду с лотком монтируют узлы привода перемещения тележки. Тележка 2 перемещается по рельсам, смонтированным вдоль канала по обе стороны от траншеи, с помощью лебедки 3, приводимой от электродвигателя, через планетарный редуктор. Она служит для монтажа исследуемых рабочих органов и сообщения им поступательного горизонтального движения при резании грунта. Тележка имеет сварную раму. На тележке имеется место для крепления сменных моделей рабочих органов 6 для бестраншейной прокладки трубопроводов. Ее возвращают в первоначальное положение с помощью ручной лебедки 4, которая установлена с противоположной стороны.

Рабочая зона грунтового канала заполнялась грунтом, подготовленным с заданными параметрами по гранулометрическому составу и плотности. Необходимые прочностные характеристики грунта достигались предварительной подготовкой и последующим уплотнением за счет трамбующей установки, расположенной на подготовительной тележке 5.

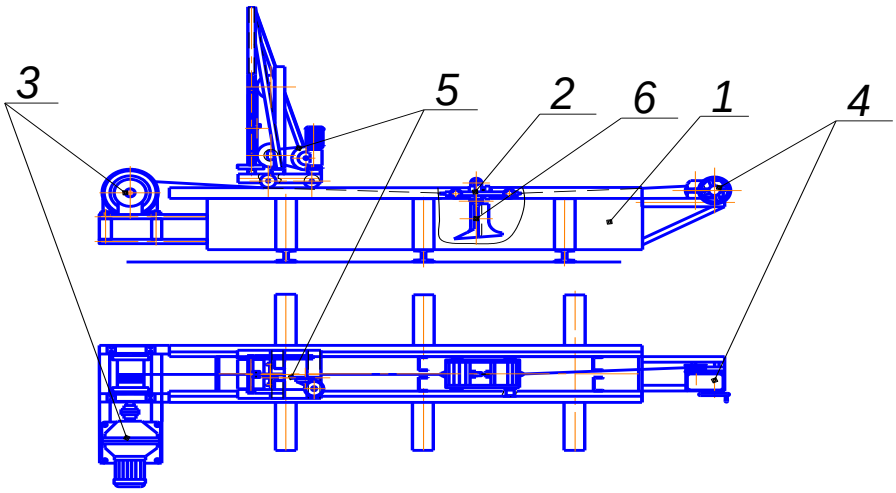


Рис. 1. Схема грунтового канала

С помощью измерительной и регистрирующей аппаратуры стенда измерялись усилие резания, нагрузки в элементах металлоконструкции машин, перемещения и скорости. Управление осуществлялось с помощью частотного преобразователя, который позволял плавно изменять скорость вращения электродвигателя тяговой лебёдки.

Эксперименты проводились на двух физических моделях рабочего органа. В результате проведенных экспериментов получено критериальное уравнение:

$$P = 1{,}84\rho l^2 v^2 \left(\frac{S}{l^2}\right)^{0{,}38} \left(\frac{gl}{v^2}\right)^{1{,}03}. \quad (9)$$

Принимая во внимание, что исследования проведены в соответствии с положениями физического моделирования, уравнение (9) позволяет обеспечить расчет необходимого тягового усилия для описанного выше рабочего органа любого необходимого типоразмера.

Список литературы

1. *Лавров И.Г., Серебренников А.А., Хакимов З.Р.* Выбор и обоснование методик расчета сил сопротивления, возникающих при прокладке полиэтиленовых трубопроводов машинами с ножевым рабочим органом./ Транспортные и технологические системы: Материалы международной научно-практической конференции. - Тюмень: ТюмГНГУ , 2010. – 404 с.

05.02.22

А.Н. Серёдкин к.т.н.

Пензенская государственная технологическая академия,
Кафедра компьютерных информационных технологий,
г. Пенза, anc@pgta.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ ПОСТАВЩИКОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ КООПЕРАТИВАМИ

В статье дано описание информационной системы оценки поставщиков в системе управления сельскохозяйственными кооперативами. Разработаны оригинальные методика оценки поставщиков и база данных.

Ключевые слова: *автоматизация, управление, сельскохозяйственная кооперация.*

В последнее время наблюдается активное развитие агропромышленного комплекса в черноземной зоне России. За последние два года число потребительских кооперативов, занимающихся производством сельскохозяйственной продукции, в частности в Пензенской области увеличился в 18 раз. Такой рост сельскохозяйственных предприятий формирует проблему повышения эффективности их деятельности, в результате чего создана система управления сельскохозяйственной потребительской кооперацией (СПоК), состоящая из 3 уровней. Одним из инструментов повышения эффективности функционирования системы управления СПоК является автоматизация процессов управления. Ключевой задачей системы, обеспечивающей стабильность функционирования и эффективность основной деятельности сельскохозяйственных кооперативов, является информационная поддержка сбыта произведенной продукции, закупки качественных товаров и ресурсов для производства продукции и оказания услуг.

Предлагаемые на рынке информационные системы не могут в полной мере использоваться для этих целей по ряду причин (дороговизна, ориентация на специфику определённых отраслей и др.). Исследования показали, что на практике в организационных структурах АПК чаще всего используется стандартное информационное обеспечение, например, «1С: Предприятие 8. Управление сельскохозяйственным предприятием», которое не всегда может быть настроено на специфику структуры организационного управления в АПК и решаемых задач. Поэтому актуальной является задача разработки специализированных приложений, отвечающих требованиям специфики агропромышленного комплекса. Для реализации автоматизированного приложения поддержки сбыта продукции необходима разработка методических основ оценки поставщиков продукции.

Процесс закупки представляет собой цепочку взаимосвязанных действий. Начальным этапом является составление заявок на продукцию, а конечным – практическое поступление требуемых товаров в нужном количестве с соблюдением качества в заданные сроки и на приемлемых условиях. Выбор поставщика является важной компонентой успеха и устойчивости, как производителей, так и покупателей сельхозпродукции. Разнообразие и большое число потенциальных поставщиков продукции создаёт проблему ранжирования и отбора поставщиков, продукция которых с наибольшим эффектом обеспечит успешную производственно-сбытовую деятельность сельскохозяйственных кооперативов и системы СПоК.

Решение задачи может быть реализовано в 3 этапа: выявление потенциальных поставщиков, анализ выявленных поставщиков, определение рейтинга и ранжирование выявленных поставщиков. Завершающим этапом для принятия решения о выборе

поставщика является определение их рейтинга и ранжирование. Сложность этапа заключается в том, что он слабо формализуется и носит творческий характер. Во-первых, неоднозначным и субъективным является суждение об удельном весе каждого показателя по сравнению с другими показателями, определяющими рейтинг оцениваемого поставщика. Поэтому рациональным решением является оценка удельной значимости в результате проведения независимой экспертизы. Во-вторых, оценка уровня того или иного показателя, характерного для данного поставщика, не может быть рассчитана формализованным методом и определяется как экспертная оценка. Для таких оценок используется балльная шкала.

Для разработки информационной системы оценки поставщиков в СПоК необходим выбор подхода к оценке поставщиков, наиболее отвечающего специфике сельскохозяйственной продукции. Существует ряд подходов к оценке поставщиков продукции, успешно применяемых в различных отраслях.

Система рейтинговой оценки качества поставщиков, применяемый в АО «АвтоВАЗ». Суть методики заключается в расчете интегральной балльной оценки, которая складывается из «взвешенных» частных оценок. Достоинством методики является ее гибкость, т.е. возможность приспособления к условиям конкретного предприятия.

Метод доминирующих характеристик состоит в сосредоточении на одном выбранном параметре (критерии). Этот параметр может быть: наиболее низкой ценой, наилучшим качеством, графиком поставок, внушающим наибольшее доверие, и т.п. Достоинством метода является простота, а недостатком – игнорирование остальных факторов (критериев отбора).

Квалиметрическая модель оценки полезности поставщика товаров и услуг формируется за несколько этапов: построение целевой функции полезности поставщика, формирование базы нормативно-справочной информации путем сбора факто-графической информации и структуризации данных поставщиков, условий поставок; формирование квалиметрической модели интегральной оценки полезности поставщика на основе применения методологии многокритериального рейтингования. Преимуществом метода является сопоставление качественно разных показателей с различными единицами измерения.

Система рейтинговой оценки качества поставщиков ОАО «КАМАЗ». Оценка поставщиков осуществляется по следующим четырем ключевым показателям: закупка (25%), качество (25%), техника (25%), логистика (25%). На основании оценки поставщики распределяются по четырем категориям: *А* – отличный поставщик; *АВ* – надежный поставщик; *В* – ненадежный поставщик; *С* – неудовлетворительный поставщик.

У каждого показателя рассчитан процент значимости, сумма равнозначных показателей или внутри группы составляет 100%. Интегральная оценка поставщика, определяется как сумма частных оценок и может принимать максимальную величину (100 баллов, что соответствует полному выполнению поставщиком требований). Достоинство метода заключается в возможности адаптации под специфику конкретного предприятия, и многолетняя апробация на ряде крупных предприятий различной отраслевой направленности, что позволяет использовать его в качестве основы для оценки поставщиков в системе сельскохозяйственной потребительской кооперации.

В качестве основы при разработке методики расчёта оценки качества поставщиков взята методика ОАО «КАМАЗ». В силу того, что базовая методика разработана для оценки поставщиков в машиностроительной отрасли, критерии оценки были адаптированы в соответствии со спецификой сельхозпроизводителей. В частности были изменены некоторые показатели.

Разработанная методика положена в основу алгоритма расчёта оценки поставщиков при проектировании информационной системы управления сельскохозяйственными кооперативами. При проектировании ИС разработана оригинальная база данных, фрагмент которой приведён на рисунке 1.

Информационная система ранжирования поставщиков продукции в системе управления СПоК, позволяет регистрировать поставщиков продукции и выполнять оценку их качества. Программа отслеживает дату актуальности проведенной оценки и в диалоговом режиме определяет для пользователя дату следующей оценки. Все записи хранятся в специальном архиве, что позволяет проследить динамику изменения критериев по оцениваемому предприятию. Для сохранения статуса актуальности оценки её срок составляет один квартал со дня последнего изменения.

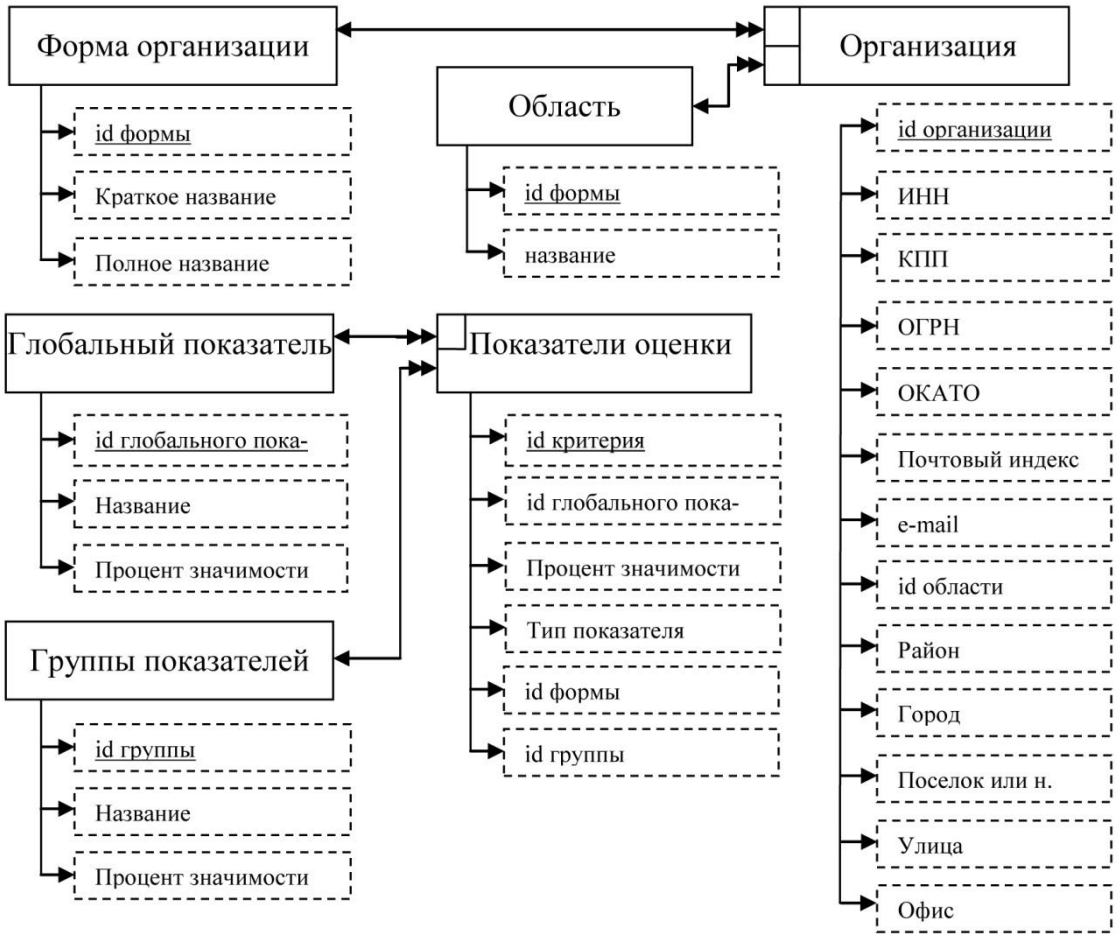


Рис. 1. БД системы оценки поставщиков в СПоК

На рисунке 2 представлено окно информационной системы с оценками поставщиков сельскохозяйственной продукции.

Таким образом, на основе анализа существующих подходов к оценке поставщиков продукции в качестве базовой методики оценки поставщиков в системе управления СПоК выбрана методика оценки, действующая на ОАО «КАМАЗ», прошедшая длительную апробацию и используемая в широком ряде отраслей.

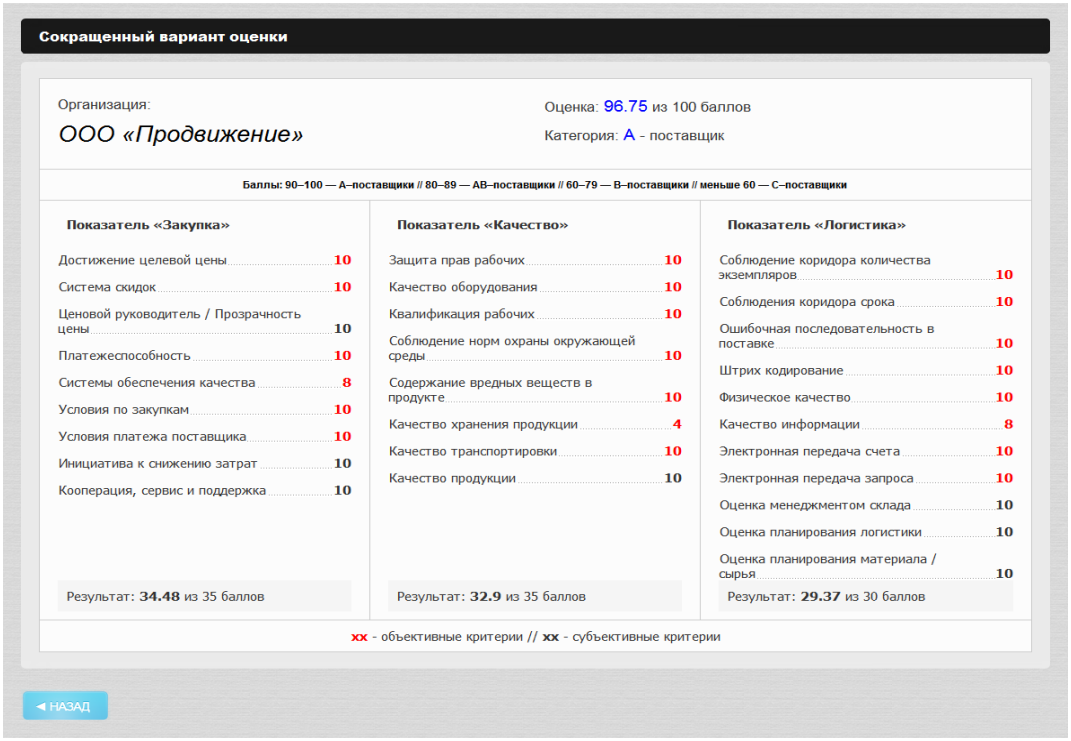


Рис. 2. Окно ИС расчёта оценки поставщиков в ИС управления СПоК

Базовая методика адаптирована для оценки поставщиков продукции в системе управления СПоК путем изменения ряда критериев, удовлетворяющим требованиям отрасли. Разработан программный продукт для оценки и ранжирования поставщиков продукции в системе управления СПоК. Применение автоматизированного приложения будет способствовать повышению качества оценки поставщиков, снижению финансовых потерь и трудозатрат, и повышению эффективности функционирования всей системы управления СПоК.

Список литературы

1. *Ляченков Н.В., Кокотов Г.В., Иванов Г.В. Литвинов.* Всесторонняя оценка деятельности поставщика в области качества // Надежность и контроль качества. 1998 г., № 8. – С. 3-9.
2. *Салимова Т.А.* Управление качеством : учеб. по специальности «Менеджмент организации». – М.: «Омега_Л», 2008. – 414 с.

05.26.03

К.А. Смотрин к.т.н.

Поволжский государственный технологический университет,
Факультет природообустройства и водных ресурсов,
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
Йошкар-Ола, smotrik@rambler.ru

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕНОРМИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В статье представлены результаты исследования возможности применения ненормируемого параметра – напряжения возникновения частичных разрядов для оценки состояния изоляции высоковольтного электрооборудования. Дано решение задачи по его нахождению в неоднородном электрическом поле, а также приведены результаты математического моделирования.

Ключевые слова: *дефект изоляции, частичные разряды, диагностирование высоковольтного электрооборудования.*

Как известно, надежность электроэнергетических систем во многом зависит от технического состояния электрооборудования. Современные нормативные документы, в частности [6], предусматривают возможность установления сроков технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию, что создает предпосылки для повышения надежности при снижении затрат. Однако реализация концепции обслуживания по необходимости требует применения новых методов и средств обнаружения дефектов изоляции на ранних стадиях их развития.

Практика эксплуатации электрооборудования показывает, что его надежность в значительной степени определяется состоянием электрической изоляции. Одним из наиболее перспективных методов оценки состояния высоковольтной полимерной изоляции является измерение характеристик частичных разрядов (ЧР), возникающих задолго до пробоя изоляции [1,5].

В [2] указано, что процесс ЧР описывается комплексом характеристик, к которому относятся: значение кажущегося заряда q единичного ЧР, частота следования n, средний ток I, квадратичный параметр D, мощность P, суммарный заряд Q за интервал времени T. Однако в различных национальных и международных стандартах в качестве нормированной характеристики ЧР для оценки качества изоляции различных типов электрооборудования принята только одна характеристика – максимальное значение кажущегося заряда q.

Данное положение не является корректным, так как в соответствии с требованиями нормативных документов, например [3], необходимо считать однотипную изоляцию одинаковой по эксплуатационным характеристикам как в случае единичного импульса ЧР максимального значения q_{max}, так и такого же значения q_{max} множества повторяющихся ЧР за время измерения. Поэтому кажется ошибочным использование только одной характеристики q и требуется либо более корректное применение q в сочетании с другими параметрами процесса ЧР, либо выбор дополнительных диагностических параметров.

Возможность применения ненормируемых измеряемых величин при оценке состояния электрооборудования предусматривается "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей". В данном документе устанавливается понятие ненормируемой измеряемой величины, общий подход к применению результатов измерений при оценке пригодности электрооборудования к эксплуатации:

"Ненормированная измеряемая величина – величина, абсолютное значение которой не регламентировано нормами. Оценка состояния электрооборудования в этом случае производится сопоставлением измеренного значения с данными предыдущих измерений или аналогичных измерений на однотипном электрооборудовании с заведомо хорошими характеристиками, с результатами остальных испытаний и т.д.

Заключение о пригодности электрооборудования к эксплуатации выдается не только на основании сравнения результатов испытаний и измерений с нормами, но и по совокупности результатов всех проведенных испытаний, измерений и осмотров".

В качестве примера, иллюстрирующего возможность применения ненормируемых параметров ЧР для оценки состояния изоляции, рассмотрим напряжение U_{pd}, при котором в дефекте изоляции начинаются частичные разряды.

Возможность применения U_{pd} в качестве диагностического параметра обусловлена тем, что оно непосредственно связано с параметрами дефекта изоляции. Это следует из рассмотрения широко известной трехемкостной схемы замещения изоляции, в которой происходят ЧР в однородном электрическом поле [1,5]

Однако в реальных изоляционных конструкциях дефекты возникают, как правило, в местах с неоднородным полем [1], поэтому подход к решению задачи по нахождению U_{pd}, основанный на трехемкостной схеме замещения изоляции с дефектом, практически неприменим.

Отправной точкой решения задачи по нахождению рассматриваемого напряжения является построение математической модели зависимости U_{pd} от параметров изоляционной конструкции и дефекта, адекватно раскрывающей сущность процесса генерации ЧР.

Исследование механизма микроразрушения сплошной полимерной изоляции показало, что при переменном, пульсирующем и постоянном напряжении как в сравнительно однородном, так и в резко неоднородном электрических полях развивается так называемый ветвистый, или древовидный пробой, то есть в толще изоляции образуются древовидные каналы (дендриты) [7].

С учетом того, что дендриты являются основным видом дефектов в высоковольтной полимерной изоляции, приводящих к пробою, в качестве модели дефекта изоляции было принято воздушное включение в виде цилиндра с диаметром много меньшим высоты, так как и в случае веткообразного, и в случае кустообразного дендрита к противоположному электроду обычно прорастает только один канал, который и замыкает электроды [7]. Модель дефекта располагается на центральной силовой линии электрического поля. Удельное поверхностное сопротивление стенок модели дефекта настолько велико, что им можно пренебречь.

Для решения задачи по нахождению напряжения, при котором в дефекте начинаются ЧР, в системе электродов с неоднородным полем воспользуемся предпосылками, изложенными в [5,7].

Средняя напряженность поля, достаточная для пробоя локального участка на длине дефекта $E_{0\delta}$, может быть вычислена по формуле:

$$E_{0\delta} = \frac{\int_{x_0}^{x_\delta} E(x)dx}{\delta}, \qquad (1)$$

где x_0 и x_δ – координаты, соответствующие началу и концу дефекта, м;

$E(x)$ – зависимость изменения значения электрического поля в межэлектродном промежутке;

δ – длина дефекта, м.

Напряженность поля $E_{в.пр}$, при которой происходит пробой воздушного промежутка (дефекта), можно вычислить по известным формулам либо по результатам натурных экспериментов.

Приравнивая $E_{0\delta}$ и $E_{в.пр.}$, можно вычислить напряжение, при котором во включении начинаются ЧР, для различных систем электродов.

В качестве примера рассмотрим систему электродов игла–плоскость, изображенную на рисунке 1.

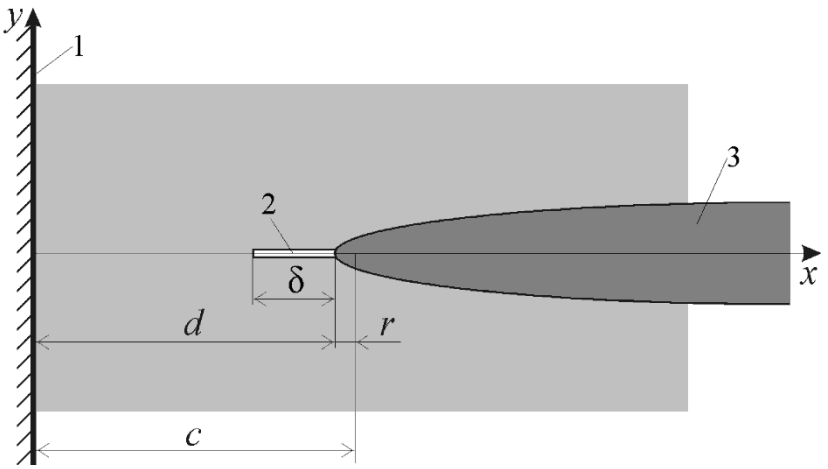


Рис. 1 – Модель дефекта в системе электродов игла–плоскость
1 – плоский электрод; 2 – дефект; 3 – игольчатый электрод.

В системе электродов игла–плоскость напряженность электрического поля вдоль оси игольчатого электрода, имеющего форму гиперболоида вращения, можно определить по формуле:

$$E(x) = -\frac{U \cdot c}{\left[c^2 - x^2\right] \cdot arth\left(\frac{d}{c}\right)}, \qquad (2)$$

где U – разность потенциалов, В; $c = r+d$, м; r – радиус закругления острия иглы, м; d – межэлектродное расстояние, м; x – текущая координата (отсчитывается от плоского электрода), м.

Среднюю напряженность поля, достаточную для пробоя локального участка на длине дефекта, можно выразить после подстановки (2) в (1):

$$E_{0\delta} = \frac{\int_{x_0}^{x_\delta} E(x)dx}{\delta} = \frac{\int_{x_0}^{x_\delta} -\frac{U \cdot c}{\left[c^2 - x^2\right] \cdot arth\left(\frac{d}{c}\right)} dx}{\delta} = \frac{U \cdot \left[\ln\left|\frac{c+x_\delta}{c-x_\delta}\right| - \ln\left|\frac{c+x_0}{c-x_0}\right|\right]}{2 \cdot \delta \cdot arth\left(\frac{d}{c}\right)}. \qquad (3)$$

Приравняв $E_{0\delta}$ и $E_{в.пр}$ получаем:

$$U_{pd} = \frac{2 \cdot E_{â.ïð.} \cdot \delta \cdot arth\left(\frac{d}{c}\right)}{\left[\ln\left|\frac{c+x_0}{c-x_0}\right| - \ln\left|\frac{c+x_\delta}{c-x_\delta}\right|\right]} = \frac{2 \cdot E_{â.ïð.}(\delta) \cdot \delta \cdot arth\left(\frac{d}{r+d}\right)}{\left[\ln\left|\frac{(r+d)+d}{(r+d)-d}\right| - \ln\left|\frac{(r+d)+(d-\delta)}{(r+d)-(d-\delta)}\right|\right]}. \qquad (4)$$

Аналогичным образом получены расчетные зависимости и для других систем электродов:

- для системы электродов в виде соосных цилиндров:

$$U_{pd} = \frac{E_{â.ïð.} \cdot \delta \cdot \ln\left(\frac{r+d}{r}\right)}{\left[\ln(r+\delta) - \ln(r)\right]}, \qquad (5)$$

где r – радиус внутреннего цилиндра, м;

- для системы электродов в цилиндр-плоскость:

$$U_{pd} = \frac{E_{â.ïð.} \cdot \delta \cdot \ln(m + \sqrt{m^2 - 1})}{2 \cdot \left[arth\left(\frac{d}{r\sqrt{m^2 - 1}} \right) - arth\left(\frac{d - \delta}{r\sqrt{m^2 - 1}} \right) \right]}, \quad (6)$$

где $m=h/r$; $h = r + d$, м; r – радиус цилиндра, м.

На рисунке 2 представлена типичная зависимость U_{pd} от размера дефекта изоляции.

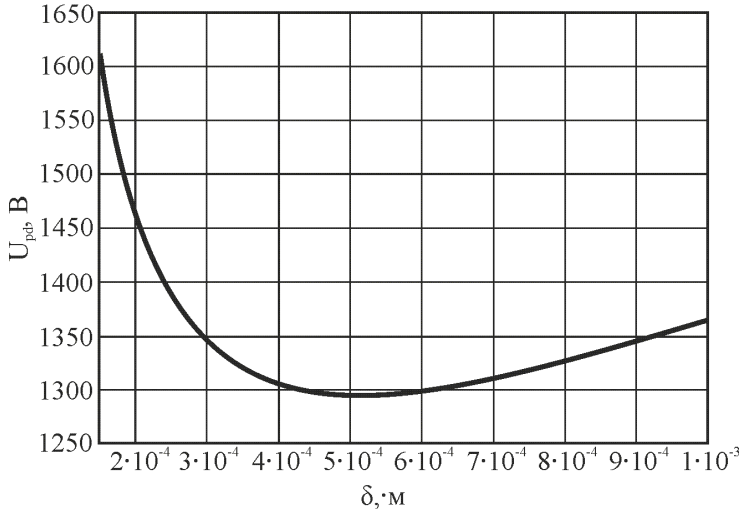


Рис. 2 – Зависимость U_{pd} от размера дефекта изоляции (система электродов игла-плоскость, $r=50 \cdot 10^{-6}$ м)

Как видно из рисунка 2 зависимость U_{pd} имеет четко выраженный минимум, о наличии которого упоминается и в [7], там же приведены эмпирические формулы для оценки его значения. Расхождение результатов, полученных с помощью формул приведенных в [7], и (4) не превышает 19,7%, что говорит об адекватности предложенной модели.

Все вышеизложенное свидетельствует о возможности использования напряжения, при котором в газовых включениях изоляции начинаются ЧР, для оценки состояния высоковольтной полимерной изоляции.

Список литературы

1. *Водвико В.П.* Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования Новосибирск: Наука, 2007. – 155 с.

2. ГОСТ 20074–83. Электрооборудование и электроустановки. Метод измерения характеристик частичных разрядов. М.: Издательство стандартов, 1983. – 22 с.

3. ГОСТ 21023–75. Трансформаторы силовые. Методы измерения характеристик частичных разрядов при испытаниях напряжением промышленной частоты. М.: Издательство стандартов, 1997. – 19 с.

4. *Ильченко Н.С., Кириленко В.М.* Полимерные диэлектрики. Киев: Техніка, 1977. – 160 с.

5. *Кучинский Г.С.* Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. Л.: Энергия, 1979. – 224 с.

6. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования.

7. *Ушаков В.Я.* Электрическое старение и ресурс монолитной полимерной изоляции. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 152 с.

05.13.18

В.А. Столярчук к.т.н.

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
Москва, vladimir.stolyarchuk@gmail.com

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ CAE - ПРИЛОЖЕНИЙ

В работе представлено краткое описание открытой учебной программной системы для подготовки разработчиков CAE – систем для аэрокосмической отрасли.

Ключевые слова: *CAE-система, алгоритмы метода конечных элементов, технология разреженных матриц.*

В настоящее время на рынке программного обеспечения категории CAE имеется большое количество программных комплексов МКЭ: ANSYS, NASTRAN, PATRAN и др. Освоение подобных систем является непростой задачей даже для подготовленных специалистов. Именно поэтому распространена организация специальных дорогостоящих курсов, ставящих своей целью подготовку сертифицированных пользователей таких систем. Другим недостатком коммерческих пакетов является их закрытость и недоступность перепрограммирования даже отдельных модулей, что является серьезным препятствием при подготовке специалистов по разработке подобных программных комплексов.

Поэтому в условиях Высшей школы приходится создавать учебные системы МКЭ, отличительная особенность которых состоит в том, что такие системы, сохраняя основные функциональные свойства промышленных комплексов, имеют упрощенные алгоритмы системного и прикладного программного обеспечения и являются системами с открытым кодом. Очевидно, что такие системы должны снабжаться достаточно развитой и весьма специфичной информационной базой, необходимой для процесса обучения, учитывая, что студентам приходится осваивать одновременно целый комплекс дисциплин.

В МАИ на кафедре «Прикладной информатики» разработана учебная система SIGMA, реализующая МКЭ для плоского напряженно-деформированного состояния, и призванная решать задачу обучения принципам построения программных комплексов указанной категории.

Отличительной особенностью SIGMA является возможность интегрирования её с системами ANSYS и NASTRAN, что позволяет решать задачу начального освоения коммерческих программных систем.

Дополнительно предоставляется возможность анализа и сравнения результатов расчета на идентичных сетках, при одинаковых внешних воздействиях и граничных условиях, а также возможность оценки функциональных особенностей, достоинств и недостатков систем. Кроме того, реализована процедура создания моделей в AutoCAD с последующим импортированием их в SIGMA. В процессе обучения также производится импортирование данных из AutoCAD в ANSYS и (или) NASTRAN, что решается уже стандартными средствами этих коммерческих пакетов. Этим достигается цель логически взаимосвязанного применения средств CAD и CAE, также способствующего комплексному изучению проблем автоматизации инженерного моделирования. Концепция системы следует в основном идеям двух классических работ [1] и [3]. Для алгоритмизации отдельных модулей использованы более поздние работы, например, [2]. Принципиальная блок-схема комплекса программ приведена на рис. 1.

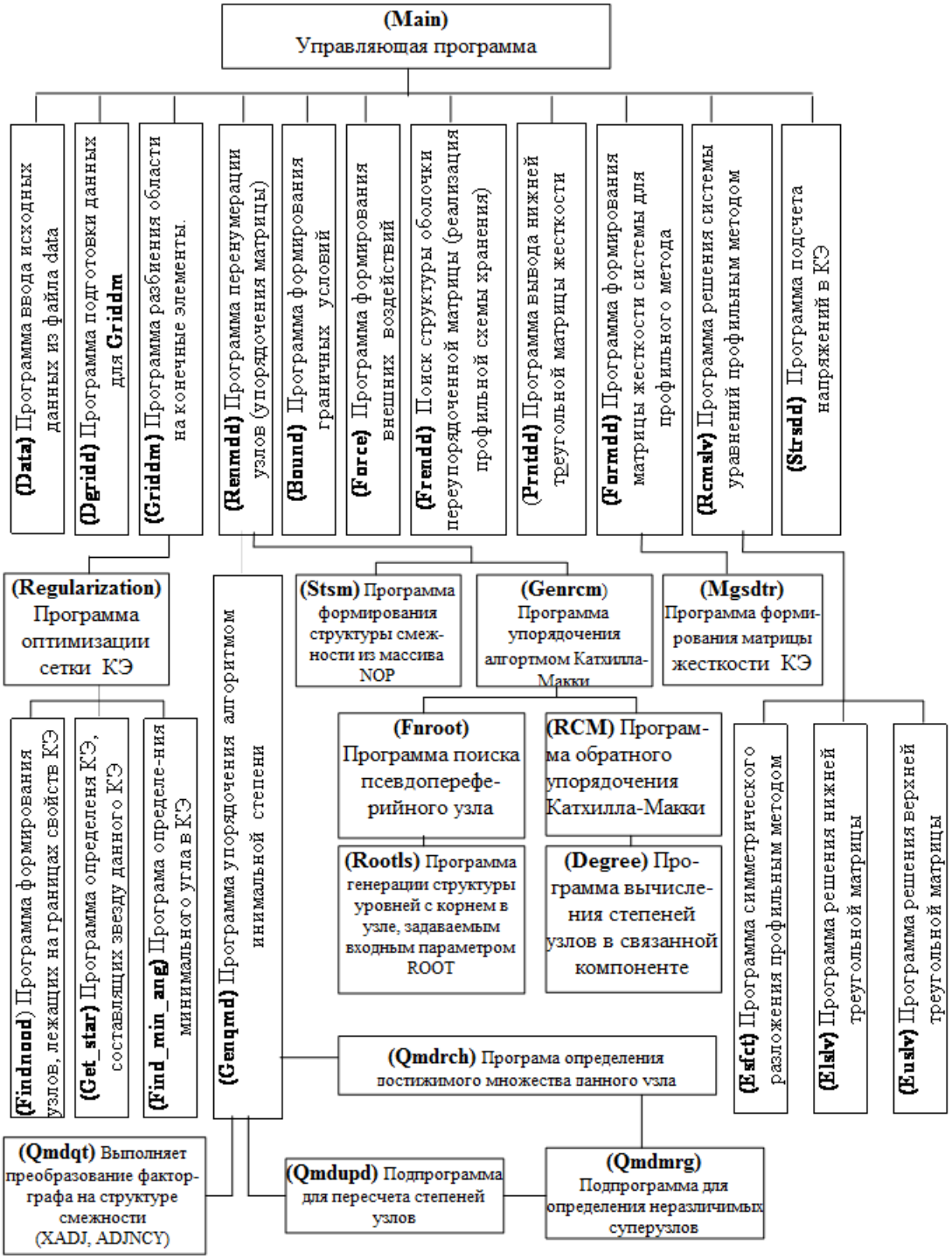


Рис. 1 Принципиальная блок-схема комплекса программ SIGMA

Вследствие того, что система SIGMA является системой с открытым кодом, доступным для перепрограммирования, студент при изучении вопросов, связанных с созданием таких систем, имеет возможность выступать в качестве разработчика отдельных модулей, что способствует более глубокому усвоению материала. Последовательное совершенствование модулей привело к тому, что значительная часть системы создана студентами, являющимися, по существу, соавторами, причем соавторами, не свободными от критики следующими поколениями студентов.

SIGMA позволяет оценить качество сеток, построенных различными алгоритмами в плоской области: алгоритма изопараметрических координат, фронтального метода, триангуляции Делоне и Рапперта. Фронтальный метод работает с использованием функции

плотности. Сетки затем оптимизируется. Для оптимизации построенных сеток используются как оригинальные алгоритмы, так и различные модификации методов Делоне и Рапперта. Для реализации каждого из алгоритмов разработаны отдельные подсистемы с визуализацией работы алгоритмов.

Для оценки преимуществ тех или иных методов технологии разреженных матриц в SIGMA применяется достаточно широкий набор алгоритмов упорядочения матриц, реализующих ленточные методы (алгоритм Розена, алгоритм Эйкиуза и Утку, прямой алгоритм Катхилла и Макки), профильные методы (обратный алгоритм Катхилла-Макки и алгоритм Кинга), а из класса универсальных разреженных методов – алгоритм минимальной степени).

Для изучения и оценки различных способов хранения разреженных матриц в системе используются разные схемы хранения: схемы, основанные на связных списках, диагональная схема хранения, профильные схемы, схема Густавсона, компактная схема Шермана и др.

Важным элементом обучения является доказательство достоверности проведенных расчетов. Это осуществляется как специальной подсистемой построения графиков сходимости по напряжениям и перемещениям при увеличении плотности сетки, так и сравнением результатов расчетов, проведенных в разных системах.

На рис 2. приведен пример построения в SIGMA графика сходимости 1-го главного напряжения для конкретной подобласти, а также результат его обработки методами регрессионного анализа. Здесь NRC- параметр плотности конечных элементов.

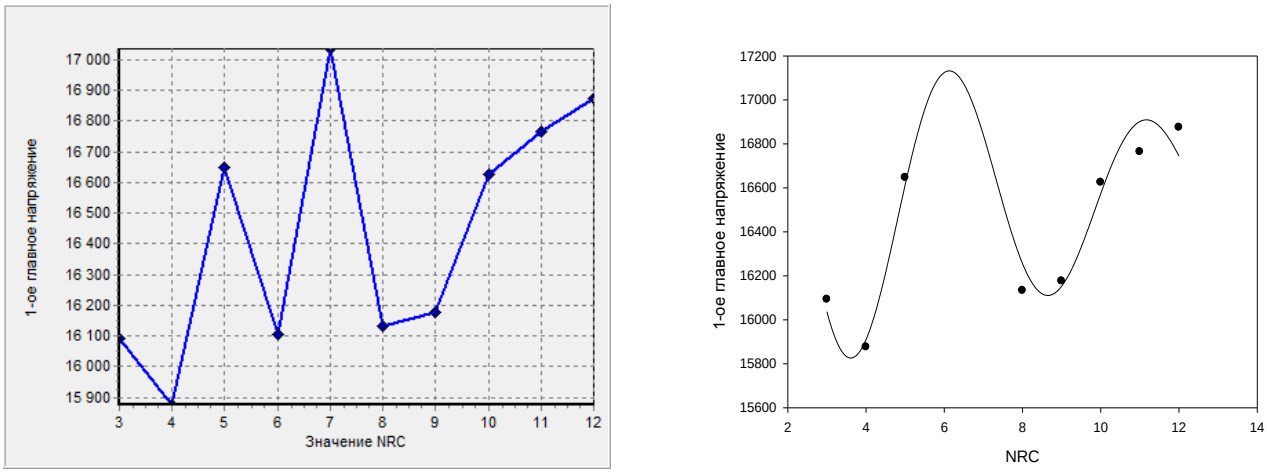


Рис. 2 Пример построения в SIGMA результатов сходимости решения и его обработки методом регрессионного анализа

Система дает возможность сравнения результатов расчета, полученных в разных системах на идентичных сетках при реализации одинаковых внешних воздействий и граничных условий. Экспорт в другие системы проводится специальной подсистемой, универсальной по отношению к комерческим CAE-системам.

Ниже в таблице приведен пример отклонений в значениях напряжений для отдельной подобласти пластины, рассчитанной в SIGMA, NASTRAN и PATRAN. В первой строке таблицы указано количество конечных элементов, на которое разбивается исследуемая область.

Таблица результатов сравнения значений напряжений, подсчитанных в разных системах

КЭ	160	640	1000	1960
По X	-19%	-13%	-11%	-9%
По Y	-49%	-33%	-29%	-22%
Касат	-26%	-13%	-10%	-9%
1-е гл.	-19%	-13%	-11%	-9%
2-е гл.	-7%	-11%	-10%	-9%
Эквив.	-17%	-12%	-10%	-8%

Отклонения NASTRAN- SIGMA

КЭ	160	640	1000	1960
По X	-40%	-45%	-45%	-43%
По Y	15%	12%	11%	13%
Касат	2%	1%	-1%	1%
1-е гл.	-1%	-1%	-1%	-1%
2-е гл.	1%	1%	1%	1%
Эквив.	-1%	-1%	-1%	-1%

Отклонения PATRAN-SIGMA

Данные таблиц и графиков, построенных по результатам расчета в трех CAE системах, демонстрируют отличия до 50 % в значениях разных видов напряжений. Перепад в результатах Sigma и Femap, в Sigma и PATRAN дают информацию об отличии результатов в коммерческих системах PATRAN и NASTRAN, которое стабильно находится в пределах 10 - 20%. Такая информация заставляет осторожно относится к результатам расчетов методом конечных элементов, что немаловажно для понимания обучаемыми природы и особенностей приближенных методов вычислений. Правда, все результаты объединяет одно - с увеличением плотности кончено-элементной сетки изменение процента отличия замедляется и стремится к определенному значению.

В процессе эксплуатации системы SIGMA накоплен большой методический материал, позволяющий проводить обучение не только формально-логическими умениям и навыкам, но и обеспечивать развитие творческих и профессиональных способностей разработчиков CAE-систем, ускоренное накопление инженерного опыта с учетом специфических требований проектных организаций аэрокосмической промышленности.

Список литературы

1. *А.Джордж, Дж. Лю.,* Численное решение больших разреженных систем уравнений. - М.: МИР, 1984.
2. *Jim Ruppert*: A Delaunay Refinement Algorithm for Quality 2-Dimentional Mesh Generation, NASA Ames Research Center, Submission to Journal of Algorithms, 1994.
3. *Л. Сегерлинд.,* Применение метода конечных элементов. - М.: МИР, 1979.

05.13.18

Д.А. Таджиев

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

ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ГОЛОНОМНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРИВОДОВ[1]

На практике реализация управляющих сил и моментов, действующих на механическую систему, происходит при помощи исполнительных механизмов, в том числе приводов. В работе рассматривается решение задачи об управлении такой системой. Обосновывается построение непрерывного и релейного управлений приводами, обеспечивающих стабилизацию программного движения управляемой голономной механической системы. Решение этой задачи широко применимо для моделирования управляемого движения различных робототехнических систем. В качестве примера рассматривается классическая задача об управлении движением математического маятника при помощи привода.

Ключевые слова: *математическое моделирование, голономная механическая система, привод, стабилизация, функция Ляпунова.*

Рассмотрим задачу о стабилизации программного движения голономной механической системы, управляемой посредством приводов. Эта задача моделируется посредством следующих уравнений

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}\right)-\frac{\delta T}{\delta q}=Q+U\,,\qquad \frac{dU}{dt}=P+u\,, \tag{1}$$

где $q=(q_1,q_2,...,q_n)^{'}$ - вывод обобщенных координат, $T=T_2+T_1+T_0$- кинетическая энергия системы.

$$T=T_2+T_1+T_0$$
$$T_2\left(t,q,\dot{q}\right)=\tfrac{1}{2}\dot{q}^{'}A\left(t,q\right)\dot{q},$$
$$T_1\left(t,q,\dot{q}\right)=B^{'}\left(t,q\right)\dot{q},\quad T_0\left(t,q\right)=C\left(t,q\right),$$

где $A\left(t,q\right)$ – матрица размерности $n\times n$ является положительно-определенной, $B\left(t,q\right)$ – матрица-столбец размерности $n\times 1$, $C\left(t,q\right)$ – скалярная функция, $\left(\ \right)^{'}$ – операция транспонирования.

$Q=Q(t,q,\dot{q})$- обобщенные внешние силы, $U=R^n$- вектор управляющих сил, действующих на систему со стороны приводов.

$P=P(t,q,\dot{q},U)$- силы и моменты, возникающие при работе приводов, $u\in R^n$ - вектор входящих сигналов, подаваемых на приводы.

Первую совокупность уравнений (1) можно переписать в виде:

[1] Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0373 «Развитие методов и алгоритмов исследования задач об управлении нелинейными механическими системами и компьютерное моделирование управляемого движения системы тел».

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T_2}{\partial \dot{q}}\right)-\frac{\partial T_2}{\partial q}=\frac{\partial T_0}{\partial q}+G'\dot{q}-\frac{\partial B}{\partial t}+Q+U,\ G(t,q)=\left(\frac{\partial B}{\partial q}\right)'-\frac{\partial B}{\partial q}=-G', \qquad (2)$$

Положим, что при $\dot{q}=q=0$, $U=0$ имеет место следующее соотношение

$$\frac{\partial T_0}{\partial q}-\frac{\partial B}{\partial t}+Q=0,\quad P=0 \qquad (3)$$

Тогда система (1) имеет нулевое положение равновесия $\dot{q}=q=0$, $U=0$

Используемая задача сводится к определению зависимости $u=u(t,q,\dot{q},U)$, при котором это положение равновесия становится асимптотически устойчивым.

С учетом (2) и (3) выделим в уравнениях (1), члены линейные относительного $\dot{q},q,U$. Получим следующие уравнения:

$$A(t,q)\ddot{q}=D(t,q,\dot{q})\dot{q}+R(t,q,\dot{q})q+Q_1(t,q,\dot{q})+U$$

$$\frac{dU}{dt}=P_1(t,q,\dot{q},U)q+P_2(t,q,\dot{q},U)\dot{q}+P_3(t,q,\dot{q},U)U+P_4(t,q,\dot{q},U),$$

где $D,R,Q_1,P_1,P_2,P_3\in R^{n\times n}$ есть соответствующие матрицы, Q_1,P_4 - нелинейные составляющие уравнений более высокого порядка по $(\dot{q},q,U)$.

Утверждение 1. Пусть выполнено условие (2). Тогда существует закон формирования управляющих сигналов в виде зависимостей

$$u=S_1q+S_2\dot{q}+S_3U,$$

где $S_1,S_2,S_3\in R^{n\times n}$ - постоянные матрицы, при котором положение $\dot{q}=q=U=0$ системы (1) является равномерно асимптотически устойчивым. Утверждение доказывается на основе теоремы из [1] и функции Ляпунова U вида

$$V=\tfrac{1}{2}(U+B_1\dot{q}+B_2q)'B_3(U+B_1\dot{q}+B_2q)+\frac{1}{2}(B_4\dot{q}+B_5q)'B_6(B_4\dot{q}+B_5q)+\frac{1}{2}q'B_7q, \qquad (4)$$

где $B_k\in R^{n\times n}$, есть некоторая постоянная матрицы, при этом матрицы $B_3=B'_3$, $B_6=B'_6$, $B_7=B'_7$ являются положительно определенными.

Условие (2) может быть опущено при применении релейного управления приводом, а именно имеет место следующее утверждение.

Утверждение 2. Существует закон формирования управляющих сигналов в виде зависимостей

$$U=-S\Delta(S_1q+S_2\dot{q}+S_3U),\ \text{где}\ S,S_k\in R^{n\times n}$$

$$\Delta(\mu)=(sign(\mu_1),sign(\mu_c),...,sign(\mu_n))',\ \mu\in R^n,$$

при котором положение $\dot{q}=q=U=0$ является равномерно асимптотически устойчивым.

Доказательство утверждения проводится на основе теоремы из [2] с применением функции Ляпунова вида (4), при этом, достаточно чтобы матрица B_6 и B_7 были бы неотрицательными.

Пример. Рассмотрим классическую задачу о стабилизации математического маятника в верхнем неустойчивом положении равновесия управляющим моментом, приложенным к нему на оси подвеса, полагая, что этот момент вырабатывается приводом с управляющим воздействием u [5].

Рассматриваемая задача сводится к системе

$$\frac{dx_1}{dt}=x_2,\ \frac{dx_2}{dt}=\omega^2\sin x_1+x_3,\ \frac{dx_3}{dt}=u,\ \omega=const>0$$

Согласно утверждению 1 поставленная задача о локальной стабилизации решается непрерывным управлением вида

$$u=-b(x_2+\omega x_1)-2cx_3,\ c>\omega,\ b>2c\omega$$

или по утверждению 2 соответствующим релейным управлением

$$u = -\mu sign(x_3 + \gamma(x_2 + x_1)),\ \mu > 2\omega,\ \gamma > \mu\omega$$

На рис.1 представлен результат численного моделирования процесса стабилизации при таких управлениях со следующими значениями численных параметров $\omega = 1$, $b = 6$, $c = 2$, $\mu = 4$, $\gamma = 6$

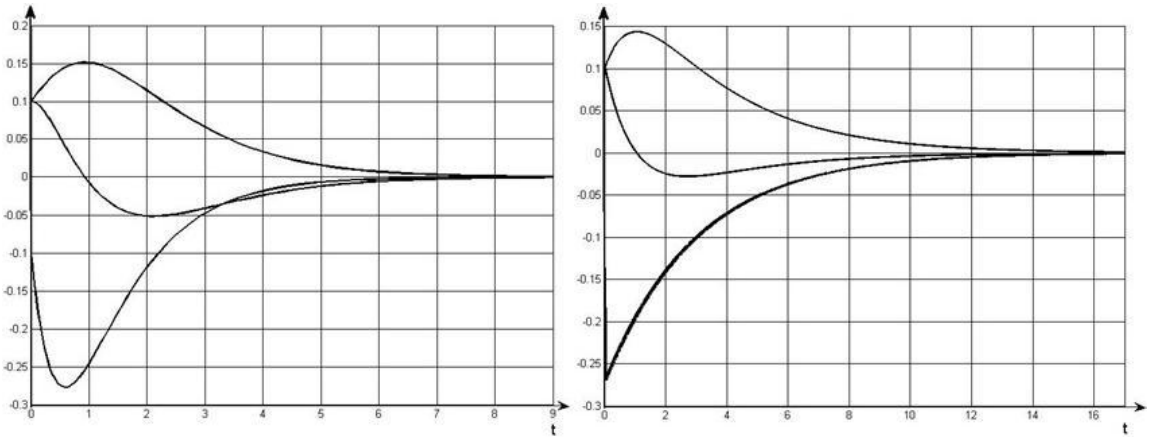


Рис. 1 Численное моделирование процесса стабилизации
при непрерывном и релейном управлениях.

Можно также показать, что задача о глобальной стабилизации верхнего положения маятника решается управления вида

$$u = -b(x_2 + 2\omega \sin\frac{x_1}{2}) - 2cx_3,\ c > 2\omega,\ b > 2\omega$$

о нелокальной стабилизации – управлением

$$u = -\mu sign(x_3 + \gamma(x_2 + 2\omega \sin\frac{x_1}{2})),\ \mu > 4\omega,\ \gamma > \frac{3}{2}\mu\omega$$

Эти результаты дополняют соответствующие результаты работы [6].

Список литературы

1. *Андреев А.С.* Об асимптотической устойчивости и неустойчивости нулевого решения неавтономной системы // ПММ. – 1984. – Т. 48. – Вып. 2. – С. 225-232.
2. *Андреев А.С., Дмитриева О.Г., Петровичева Ю.В.* Об устойчивости нулевого решения системы с разрывной правой частью // Научно-технический вестник Поволжья, 2011. – № 1. – С. 15-21.
3. *Матюхин В.И.* Универсальные законы управления механическими системами. – Москва: МАКС Пресс, 2001. – 252 с.
4. *Матюхин В.И., Пятницкий Е.С.* Управление движением манипуляционных роботов на принципе декомпозиции при учете динамики приводов // Автоматика и телемеханика. – 1989. – № 9. – С. 67-82.
5. *Красовский Н.Н.* Проблемы стабилизации управляемых движений / *Малкин И.Г.* Теория устойчивости движения. Доп. 4. М.: Наука, 1966. С. 475-514
6. *Андреев А.С., Румянцев В.В.* О стабилизации движения нестационарной управляемой системы // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 8. – С. 18-31.

05.13.01

О.П. Тимофеева к.т.н., Э.С. Соколова д.т.н., Н.С. Иконникова

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
институт радиоэлектроники и информационных технологий,
кафедра информатики и систем управления,
Нижний Новгород, optimofeeva@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДВУМЕРНОЙ ОРТОГОНАЛЬНОЙ УПАКОВКИ

Описан принцип решения двумерной задачи ортогональной упаковки, основанный на генетическом алгоритме. В работе для построения модели задачи используются различные декодеры, проводится сравнительный анализ работы алгоритма при различных его параметрах с целью получения оптимального набора параметров для конкретной задачи.

Ключевые слова: *генетический алгоритм, методы оптимизации, двумерная упаковка, настройка генетического алгоритма, декодеры.*

Генетический алгоритм находит все более широкое применение при решении задач оптимизации в различных областях. В работе предлагается использовать генетический алгоритм для решения задач двумерной ортогональной упаковки, играющих важную роль в управлении производством при рациональном подходе к планированию расхода ресурсов. Особенностью адаптации генетического алгоритма к решению таких задач является акцент на использование различных видов декодеров.

Предполагается упаковать *n* прямоугольников $R_i, i = \overline{1,n}$, для которых заданы w_i, h_i, *isOrient* – ширина, высота и возможность вращения *i*-го прямоугольника соответственно, задана W – ширина полосы упаковки. Найдем ортогональную упаковку (прямоугольники располагаются параллельно сторонам полосы) без перекрытий данного набора прямоугольников, имеющую максимальную плотность упаковки.

Математическая постановка задачи имеет следующий вид (1):

$$\begin{cases} R = \{R_1, \dots, R_n\} \\ \sum_{i=1}^{n} a_i w_i \le W \\ \sum_{i=1}^{n} b_i h_i = H \\ \rho = \frac{S_{уп}}{HW} \to max \\ isOrient_i,\ i = \overline{1,n} \end{cases} \quad (1)$$

В задаче (1) высота упаковки не ограничена, однако, для вычисления общей площади упаковки используется максимальная высота, которую заняли прямоугольники - *H*, а в качестве ширины упаковки используется *W* – ширина полосы. Кроме того, в (1) введены следующие дополнительные параметры задачи: a_i – коэффициент, показывающий, входит ли *i*-й прямоугольник в число тех, которые определяют ширину упаковки (a_i=[0,1]); b_i – коэффициент, показывающий, входит ли *i*-й прямоугольник в число тех, которые определяют высоту упаковки (b_i=[0,1]); ρϵ[0,1] - плотность упаковки (функция пригодности) - отношение площади, занимаемой прямоугольниками $S_{уп}$, к общей площади упаковки *HW*.

Из задачи (1) следует три типа задач, которые будут рассмотрены в работе. В задаче 1 не все прямоугольники можно вращать при упаковке (*isOrient=(true/false*)). В задаче 2 все прямоугольники можно вращать (*isOrient=true*). В задаче 3 прямоугольники вращать нельзя (*isOrient=false*).

В качестве структуры данных, несущей информацию об упаковке, будем использовать последовательность номеров прямоугольников, представляющую собой очередность упаковки, которую назовем приоритетным списком $PL = \{p_1, p_2, ..., p_n\}$. Приоритетный список - это кодированное решение, в терминах генетического алгоритма – «хромосома», каждый элемент p_i («ген») которого хранит параметры i –го прямоугольника $p_i = \{w_i, h_i, isOrient_i, x_i, y_i\}$; координаты прямоугольника (x_i, y_i) - это координаты его нижней левой точки. Приоритетный список является косвенной схемой кодирования решения.

Декодер – оператор, позволяющий перейти от косвенной (числовой) схемы кодирования решения задачи к прямой (графической) схеме, он формирует карту раскроя по приоритетному списку. Таким образом, с помощью декодера можно получить координаты прямоугольников, а значит, и графическое представление решения задачи, а также вычислить значение функции пригодности. В работе используется два вида декодеров.

Декодер «Нижний левый» (BL) представлен на рис.1. Шаг i ($i = \overline{1,n}$): последовательно передвинуть прямоугольник p_i из PL, начиная от верхнего правого угла упакованной площади полосы вниз настолько, насколько это возможно, а затем влево, снова вниз и т.д., до тех пор, пока его можно сдвинуть влево или вниз. Преимущество здесь имеет движение влево [1].

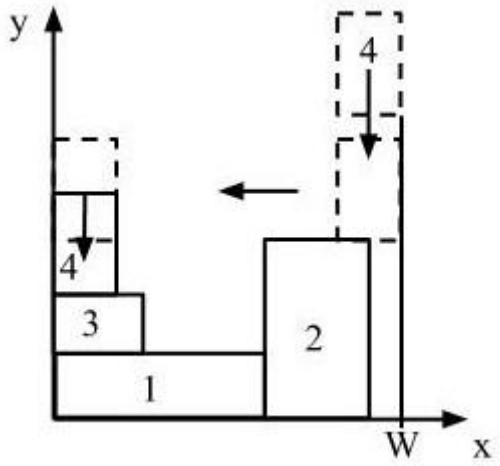


Рис. 1- Декодер «Нижний левый»

Декодер «Усовершенствованный нижний левый» (IBL) представлен на рис.2. Шаг i ($i = \overline{1,n}$): последовательно передвинуть прямоугольник p_i из PL, начиная от верхнего правого угла упакованной площади полосы вниз настолько, насколько это возможно, а затем влево, снова вниз и т.д., до тех пор, пока его можно сдвигать влево или вниз. При этом передвижение вниз имеет преимущество [1].

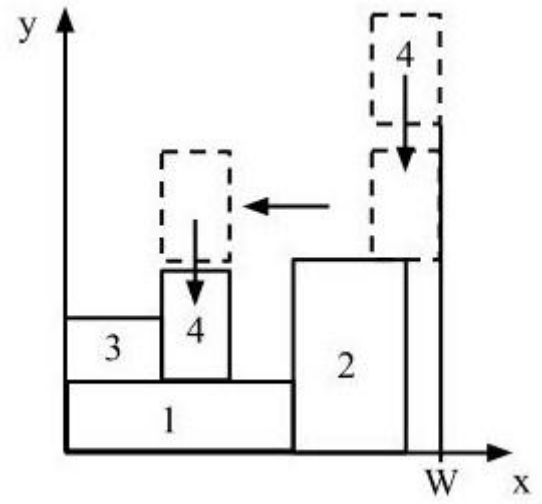


Рис. 2- Декодер «Усовершенствованный нижний левый»

Поиск оптимальной с точки зрения плотности (1) ортогональной упаковки производится в работе с помощью генетического алгоритма, основные этапы которого описаны в [2,3].

При решении поставленной задачи пришлось учитывать ее специфику, и, как следствие, модифицировать работу операторов генетического алгоритма. В частности, модифицирован оператор скрещивания, где после применения одноточечного оператора кроссовера проводится анализ содержания полученного решения на предмет повтора номеров прямоугольников с последующим добавлением отсутствующих. После работы оператора мутации, настройка которого зависит от размерности задачи, изменяется также значение параметра вращения на противоположное. Информация о типе декодера используется при вычислении значения функции пригодности.

С помощью разработанного программного обеспечения произведено моделирование, которое позволило настроить параметры генетического алгоритма для решения задачи двумерной упаковки в соответствии с ее размерностью и видами прямоугольников, определяемыми значениями коэффициентов K^{st} отношения их сторон.

На рис.3,4 показан выбор типа декодера и типа селекции для рассматриваемых типов задач при n=100 и не сильно отличающихся значениях K^{st}.

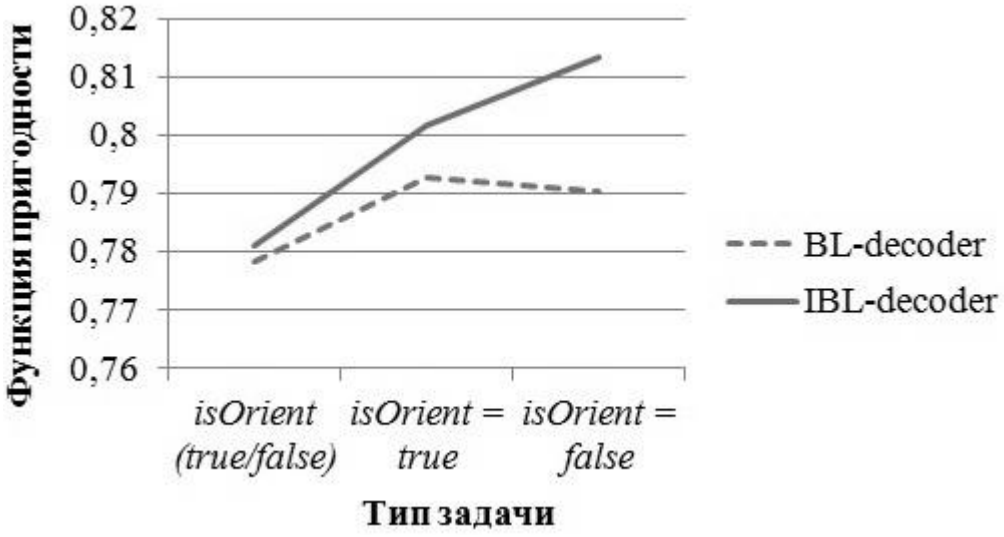


Рис. 3- Зависимость функции пригодности от типа декодера для рассматриваемых задач

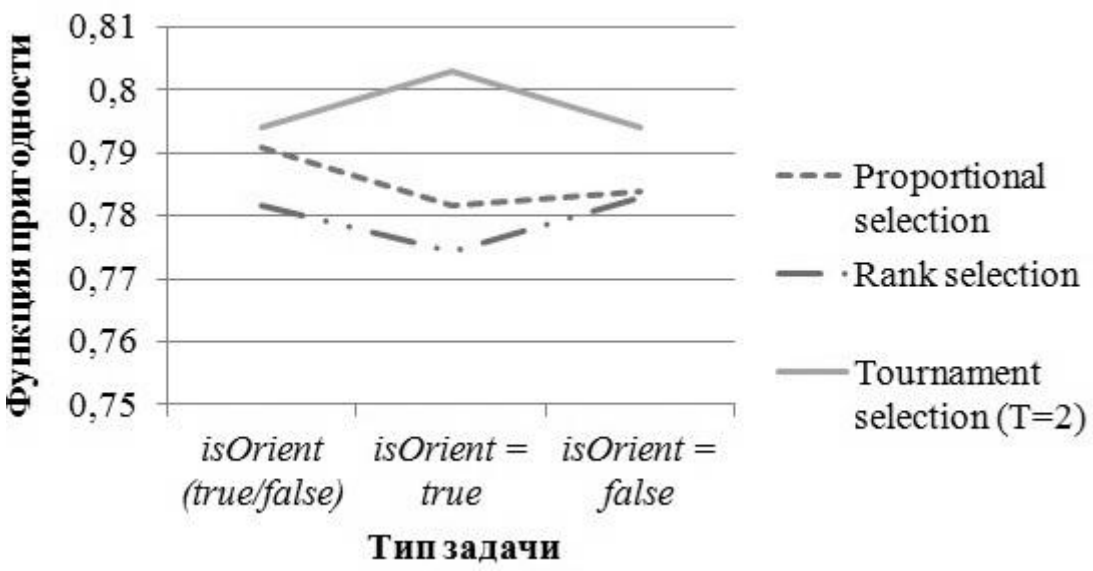


Рис. 4- Зависимость функции пригодности от типа селекции для рассматриваемых задач

Результатом работы явился адаптированный к задаче упаковки генетический алгоритм с возможностью настройки параметров в зависимости от исходных данных и выбором различных видов декодеров. По результатам проведенного исследования можно утверждать, что настройка параметров алгоритма позволяет получить решение рассматриваемых типов задач с наилучшим значением функции пригодности.

Список литературы

1.*Смагин М.А.* Автоматизированная система двумерного раскроя-упаковки с использованием различных декодеров на базе генетического алгоритма // Принятие решений в условиях неопределенности. – 2005. – С.2-4.
2.*Соколова Э.С., Капранов С.Н.* Оптимизация коэффициента глубина поиска дефектов методом генетических алгоритмов // Контроль. Диагностика. —2004. – №4. – С. 32-39.
3.*Соколова Э.С., Капранов С.Н.* Обеспечение контролепригодности технических систем с использованием эволюционного моделирования // Методы менеджмента качества. 2004. – №8. – С. 42-46.

05.23.01

А.Р. Туснин д.т.н.

Московский государственный строительный университет,
институт строительства и архитектуры, кафедра металлических конструкций,
Москва, valeksol@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОСТЕННОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ РАСЧЁТЕ ПРОГОНА ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

В статье представлены результаты тестового расчёта фахверкового прогона с применение стержневого тонкостенного конечного элемента. Полученные результаты подтверждают возможность применения для расчёта стержней со сложными тонкостенными сечениями разработанной автором численной методики.

Ключевые слова: *тонкостенный стержень, кручение, депланация, бимомент, секториальные напряжения.*

Для ряда конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля характерны воздействия, вызывающие кручения стержней. Примером таких конструкций служат подкрановые балки; балки скатных покрытий и пола транспортерных галерей; пространственные рамы; мембранные системы с эксцентричным креплением мембраны к опорному контуру и т.п. Вызывают кручение тонкостенных стержней открытого профиля погрешности изготовления и монтажа, повреждения связей, изменения расчетных схем при ремонте и реконструкции. Кручение тонкостенных стержней открытого профиля, из-за стеснения депланации сечения, ведёт к возникновению дополнительных секториальных нормальных напряжений. Фактическая жесткость на кручение тонкостенного стержня открытого профиля, значительно выше, чем жесткость при чистом кручении. Неправильный учет жесткостных параметров стержней ведет к неверному определению усилий и перемещений, что снижает надежность системы. Определенные без учёта стеснённого кручения усилия и деформации для тонкостенных стержней открытого профиля существенно отличаются от фактических. Следствием неточного расчета являются или излишние запасы несущей способности, или перенапряжение конструкции.

Наиболее рационально для расчета сложных пространственных конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля использовать стержневые тонкостенные конечные элементы, учитывающие не только чистое, но и стесненное кручение, при совпадении и несовпадении центров тяжести и изгиба, наличии или отсутствии эксцентриситетов в узлах, что делает актуальным разработку таких конечных элементов.

На основании проведенных исследований [2] разработана численная методика расчёта с использованием конечных элементов тонкостенных стержней открытого профиля (ТКЭ), реализованная в вычислительном комплексе расчета пространственных стержневых конструкций. Для оценки достоверности ТКЭ выполнен ряд тестовых расчетов.

В настоящей статье приведены результаты расчета тонкостенного фахверкового прогона с открытым профилем. Результаты численного расчета сопоставлены с данными расчета фахверкового прогона, выполненного в [1].

Фахверковый прогон имеет сложное составное сечение, образованное двумя швеллерами №12 по ОСТ 10017-39. Прогон (рис.1) пролетом l=300 см, загружен равномерно распределенной по длине нагрузкой 9 кг/см, приложенной с эксцентриситетом относительно центра изгиба сечения.

Прогон имеет по концам следующие граничные условия:

при $x=0$: $u=0$ $v=0$ $w=0$ $\alpha=0$;

при $x=l$: $u=0$ $v=0$ $w=0$ $\alpha=0$.

Расчетная схема прогона с нумерацией узлов и элементов при использовании ТКЭ представлена на рис.2. По длине прогон разбит на 10 равных элементов. Номера элементов показаны в кружках.

К узлам системы приложена нагрузка в виде сосредоточенных сил и моментов:

- сосредоточенная сила: 900х0,3=270 кг;
- сосредоточенный момент: 270х7,11=1920 кг·см.

Геометрические и жесткостные характеристики сечения, определенные ранее [1], представлены в таблице 1. При расчете жесткостей принято: E=2,1·10^6 кг/см^2; G=0,4E.

Таблица 1

Геометрические характеристики сечения

A, см^2	J_y, см^4	J_z, см^4	J_t, см^4	J_ω, см^6	EA, кг	EJ_y, кг·см^2	EJ_z, кг·см^2	GJ_t, кг·см^2	EJ_ω, кг·см^4
30,72	383,8	976,8	6,17	4829	6,45·10^6	8,06·10^8	2,05·10^9	5,18·10^6	1,01·10^{10}

В таблице 2 представлены координаты, секториальные площади, напряжения в характерных точках и усилия в сечении по данным [1]. Напряжения и усилия определены в середине пролета прогона. Суммарные напряжения равны: $\Sigma\sigma = \sigma_y + \sigma_z + \sigma_\omega$. Усилия в среднем сечении определены по формулам:

$$M_y = -\frac{\sigma_y I_y}{z} \qquad M_z = \frac{\sigma_z I_z}{y} \qquad B_\omega = \frac{\sigma_\omega I_\omega}{\omega}. \qquad (1)$$

В таблице 2 представлены координаты, секториальные площади, напряжения в характерных точках и усилия в сечении по данным [1]. Напряжения и усилия определены в середине пролета прогона.

Таблица 2

Координаты, секториальные площади, напряжения в характерных точках и усилия в сечении по данным [1]

Номера точек	1	2	3	4
y, см	-10,35	-4,73	9,88	7,37
z, см	-2,98	6,80	-1,60	-5,95
ω, см2	39,04	10,27	-12,98	34,00
σy, кг/см2	391,5	-893,4	210,2	781,7
σz, кг/см2	-930,1	-425,1	887,9	662,3
σω, кг/см2	-953,8	-250,9	317,1	-830,7
Σσ,кг/см2	-1492,4	-1569,4	1415,2	613,3
My, кг см	50422	50425	50422	50423
Mz, кг см	87780	87788	87783	87779
B ω, кг см2	-117979	-117974	-117972	-117984

Результаты расчета с использование ТКЭ даны в таблице 3. Кроме усилий в таблице 3 показаны напряжения в характерных точках сечения.

Таблица 3

Усилия и напряжения в среднем сечении при расчете с использованием ТКЭ.

Номера точек	***1***	***2***	***3***	***4***
My, кг см	50450			
Mz, кг см	87790			
B ω, кг см2	-121200			
y, см	-10,35	-4,73	9,88	7,37
z, см	-2,98	6,80	-1,60	-5,95
ω, см2	39,04	10,27	-12,98	34,00
σy, кг/см2	391,7	-893,9	210,3	782,1
σz, кг/см2	-930,2	-425,1	888,0	662,4
σω, кг/см2	-979,8	-257,8	325,8	-853,3
Σσ,кг/см2	-1518,3	-1576,7	1424,1	591,2

Результаты, полученные расчетом с использованием ТКЭ, хорошо соотносятся с данными таблицы 1 (отличие усилий не превышает 3%, отличие суммарных напряжений 4%).

Таким образом, ТКЭ можно использовать при расчете тонкостенных стержней открытого профиля, имеющих сложное сечение.

Список литературы

1. *В.З. Власов.* Тонкостенные упругие стержни. М., 1959. 568 с.
2. *Туснин А.Р.* Численный расчёт конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля. Москва: Издательство АСВ, 2009. 144 с.

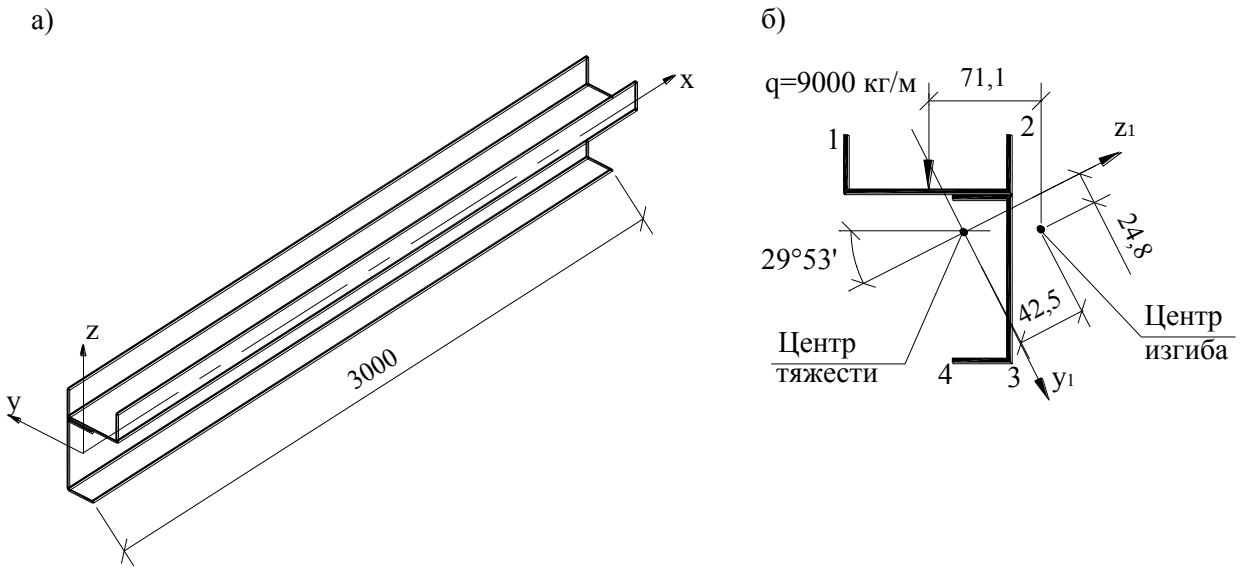


Рис.1. Поперечное сечение фахверкового прогона

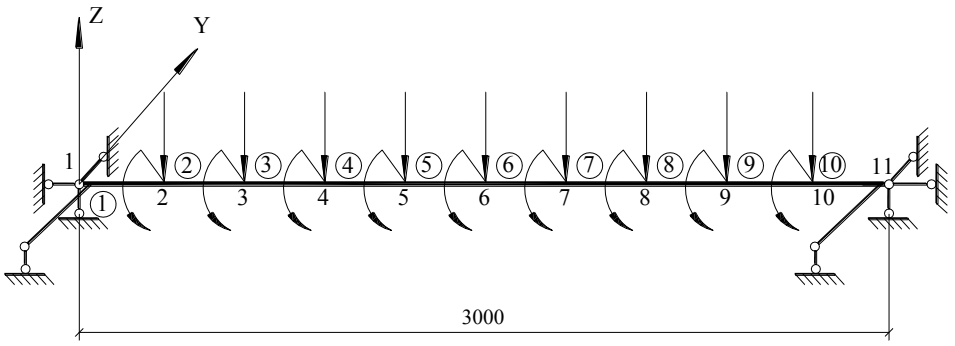


Рис.2. Расчетная схема фахверкового прогона
при использовании тонкостенных конечных элементов

05.23.17

А.Ю. Ушаков, М.Г. Ванюшенков к.т.н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»),
Москва, 903714@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕЙСТВИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СЖИМАЮЩИХ УСИЛИЙ НА НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗОГНУТОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНКИ

Рассмотрены примеры расчета тонкой упругой пластинки, сжатой в одном и двух направлениях равномерно распределенными нагрузками N_1 и N_2 и находящейся под действием поперечной равномерно-распределенной нагрузкой.

Получено аналитические решения методом начальных функций, собственные функции которого точно удовлетворяют однородным граничным условиям на двух противоположных сторонах пластинки (шарнирное опирание).

Для нахождения произвольных постоянных используется полученное авторами соотношение обобщенной ортогональности собственных функций. Приведены примеры расчета пластинок с различными условиями закрепления сторон.

Ключевые слова: *соотношение обобщенной ортогональности, метод начальных функций, граничные условия, упругая тонкая пластинка, критическое значение продольной силы, дифференциальное уравнение.*

В работе [1] получено решение задачи расчета сжато-изогнутых прямоугольных пластинок методом начальных функций.

$$W = h\left\{ W_{(\eta)}{}^{*} + 2\,\mathrm{Re}\sum_{n=1}^{\infty}(A_n\, sh\, r_n\xi + B_n ch\, r_n\xi)F_n(r_n,\eta)\right\}. \qquad (1)$$

Построена матрица начальных функций, выражающая прогиб и внутренние усилия в произвольном сечении пластинки через 4 начальные функции, за которые принимаются: прогиб, угол поворота, изгибающий момент и обобщенная перерезывающая сила, перпендикулярная первоначальной поверхности пластинки, действующие в сечении пластинки, принятом за начальное.

Это решение точно удовлетворяет дифференциальному уравнению задачи и однородным граничным условиям на двух противоположных (крайних сторонах) пластинки и содержит 4n (n=∞) произвольных постоянных интегрирования, которые могут быть найдены из удовлетворения граничным условиям на двух остальных краях пластины.

В работе [2] получена новая форма соотношения, обобщенная ортогональности однородных решений задачи, получаемых методом начальных функций. Показано каким образом с помощью этого соотношения могут быть определены точно или приближенно неизвестные коэффициенты при различных граничных условиях.

Коэффициенты, входящие в решение (1), могут быть определены точно в случае, если на этих краях заданы значения прогиба и изгибающего момента или угла поворота и обобщенной перерезывающей силы.

$$A_n = \frac{1}{J_n}\left\{\int_0^1 f_1''\, F_n''\, d\eta - 2N_2\int_0^1 f_1'\, F_n'\, d\eta - r_n^2\int_0^1 f_2\, F_n d\eta\right\}, \qquad (2)$$

где $J_n = \int_0^1 \left\{ F_n''^{2} - 2N_2 F_n'^{2} - r_n^4 F_n^{2}\right\} d\eta.$

В качестве функций $F_k(\eta)$и $f(\eta)$ можно выбрать функции, обладающие полнотой например, степенные функции, тригонометрические функции или собственные функции $F_k(\eta)$ однородных решений задачи.

В работе [3] рассматривались задачи устойчивости сжатых в одном или двух направлениях прямоугольных пластинок методом начальных функций.

В данной статье рассматривается расчет сжато-изогнутых пластинок под действием единичной равномерно распределенной поперечной нагрузки и сжимающих сил, действующих в одном или двух направлениях, показано как влияет на Н.Д.С. пластинки величина сжимающей нагрузки. На основании методики изложенной в работах [2] были рассмотрены примеры расчета квадратной пластинки с различными граничными условиями под действием только равномерно распределенной поперечной нагрузки и совместным действием продольной и поперечной нагрузки, причем величина продольной нагрузи бралась в долях от критического значения продольной силы. При выполнении расчетов использовалась система MathCAD.

В таблице 1а, 1б, 1в, 1г, приведены значения прогибов в трех характерных точках квадратной пластинки (рис. 1) шарнирно опертой по 2 сторонам и 1 стороной свободной, 1 стороной жестко защемленной при различных значениях продольных сил N_1 и N_2.

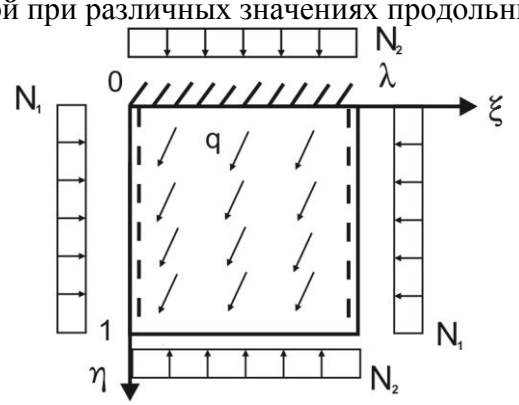


Рисунок 1. Расчетная схема квадратной пластинки.

Таблица 1а. При изгибе без учета продольных сил. (q=1, N_1=0, N_2=0)

Координаты характерных точек.	$\eta = 0;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 1;$ $\xi = 0.5$
Величина прогиба W при изгибе.	$7.5685\cdot10^{-7}$	0.0056126	0.010777

Таблица 1б. При изгибе и сжатии в одном направлении. (q=1, $N_1=(0.2\div0,6)\cdot N_{кр}$, N_2=0, $N_{кр}$=8.381)

Координаты характерных точек.	$\eta = 0;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 1;$ $\xi = 0.5$
Величина прогиба W при $N_1=0.2\cdot N_{кр}$	$7.4876\cdot10^{-7}$	0.0069046	0.01431
При $N_1=0.4\cdot N_{кр}$	$6.6885\cdot10^{-7}$	0.00904	0.01845
При $N_1=0.6\cdot N_{кр}$	$7.1682\cdot10^{-7}$	0.01431	0.02812

Таблица 1в. При изгибе и сжатии в противоположном направлении. (q=1, N_1=0, $N_2=(0.2\div0,6)\cdot N_{кр}$, $N_{кр}$=12.52).

Координаты характерных точек.	$\eta = 0;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 1;$ $\xi = 0.5$
Величина прогиба W при $N_2=0.2\cdot N_{кр}$	$1.4566\cdot10^{-5}$	0.00606	0.01243
при $N_2=0.4\cdot N_{кр}$	$1.3285\cdot10^{-5}$	0.00664	0.014955
при $N_2=0.6\cdot N_{кр}$	$1.0699\cdot10^{-5}$	0.00731	0.01958

Таблица 1г. При изгибе и сжатии в противоположном направлении. (q=1, $N_1= N_2= (0.2÷0,6)\cdot N_{кр}$, $N_{кр}=5.89$).

Координаты характерных точек.	$\eta = 0;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 1;$ $\xi = 0.5$
Величина прогиба W при $N_1=N_2=0.2 \cdot N_{кр}$	$1.5747\cdot10^{-5}$	0.006746	0.013621
При $N_1=N_2= 0.4\cdot N_{кр}$	$1.6285\cdot10^{-5}$	0.00904	0.01845
При $N_1=N_2=0.6 \cdot N_{кр}$	$1.6783\cdot10^{-5}$	0.01431	0.027932

В таблице 2а, 2б, 2в, 2г, приведены значения прогибов в трех характерных точках квадратной пластинки (рис 2) шарнирно опертой по 2 поперечным и жестко защемленной 2 продольным сторонам при различных значениях продольных сил N_1 и N_2.

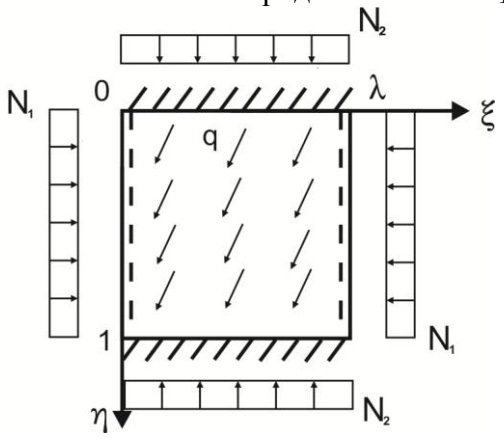


Рисунок.2. Расчетная схема квадратной пластинки.

Таблица 2а. При изгибе без учета продольных сил. (q=1, $N_1=0$, $N_2=0$)

Координаты характерных точек.	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 1$
Величина прогиба W при изибе	$1.3724\cdot10^{-7}$	0.001916	$1.3724\cdot10^{-7}$

Таблица 2б. При изгибе и сжатии в одном направлении.(q=1, $N_1=(0.2÷0,6)\cdot N_{кр}$, $N_2=0$, $N_{кр}=42.461$).

Координаты характерных точек.	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 1$
Величина прогиба W при $N_1=0.2 \cdot N_{кр}$	$7.366\cdot10^{-7}$	0.002407	$7.366\cdot10^{-7}$
При $N_1=0.4\cdot N_{кр}$	$1.1368\cdot10^{-7}$	0.003271	$1.1368\cdot10^{-7}$
При $N_1=0.6 \cdot N_{кр}$	$1.3572\cdot10^{-7}$	0.004872	$1.3572\cdot10^{-7}$

Таблица 2в. При изгибе и сжатии в противоположном направлении. (q=1, $N_1=0$, $N_2= (0.2÷0,6)\cdot N_{кр}$, $N_{кр}=33.276$).

Координаты характерных точек.	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 1$
Величина прогиба W при $N_2=0.2 \cdot N_{кр}$	$6.7644\cdot10^{-7}$	0.00240	$6.7644\cdot10^{-7}$
при $N_2=0.4\cdot N_{кр}$	$5.9228\cdot10^{-6}$	0.00319	$5.9228\cdot10^{-6}$
при $N_2=0.6 \cdot N_{кр}$	$1.0699\cdot10^{-5}$	0.00471	$1.0699\cdot10^{-5}$

Таблица 2г. При изгибе и сжатии в противоположном направлении. (q=1, $N_1= N_2= (0.2÷0,6)\cdot N_{кр}$, $N_{кр}=18.89$).

Координаты характерных точек.	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 0.5$	$\eta = 0.5;$ $\xi = 1$
Величина прогиба W при $N_1=N_2=0.2 \cdot N_{кр}$	$1.5801\cdot10^{-7}$	0.00241	$1.5801\cdot10^{-7}$
При $N_1=N_2= 0.4\cdot N_{кр}$	$1.6656\cdot10^{-7}$	0.00323	$1.6656\cdot10^{-7}$
При $N_1=N_2=0.6 \cdot N_{кр}$	$1.4802\cdot10^{-7}$	0.00488	$1.4802\cdot10^{-7}$

Из приведенных полученных результатов следует вывод, что наличие продольных сил существенно увеличивает прогибы и внутренние усилия. При этом, возрастание носит нелинейный характер.

Список литературы

1. Соотношение обобщенной ортогональности и их использование при расчете сжато-изогнутых пластинок методом начальных функций. / М.Г. Ванюшенков, А.Ю. Ушаков. / / Строительная механика и расчет конструкций. 2006 №6 с. 23-28.
2. Расчет сжато-изогнутых пластинок методом начальных функций с использованием соотношения обобщенной ортогональности однородных решений задачи./ М.Г. Ванюшенков, А.Ю. Ушаков / / Сб.докладов юбилейной н.-т. Конференции ППС ИСА.- М.: МГСУ, 2006г.с.
3. Определение критической сжимающей нагрузки упругих тонких пластинок методом начальных функций. / М.Г. Ванюшенков, А.Ю. Ушаков / / Промышленное и гражданское строительство. 2010 №11с. 71-73.

05.22.08

М.В. Фуфачева к.т.н., А.Д. Сиразетдинова к.т.н.

Красноярский институт железнодорожного транспорта –
филиал ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»,
кафедра «Эксплуатация железных дорог»,
Красноярск, fumari@mail.ru

МЕТОДИКА ВЫБОРА СОБСТВЕННИКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ С ВАГОНОПОТОКАМИ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

В работе представлены результаты изучения изменений в работе путей необщего пользования после передачи подвижного состава из собственности ОАО «Российские железные дороги» в собственность операторских компаний

Ключевые слова: *вагонопотоки, операторы, подвижной состав, пути необщего пользования*.

В процессе реформирования отрасли железнодорожных перевозок начиная с 2003 года идет постепенная реструктуризация бывшего министерства путей сообщения. Одним из результатов данной реструктуризации стало появление вагонов, принадлежащих на правах аренды, лизинга или полной собственности промышленным предприятиям и частным лицам. Доля собственного и арендованного парка вагонов постепенно увеличивалась и к 2007 году составляла порядка 30%. Особенностью работы с собственным и арендованным подвижным составом является невозможность отправления порожнего вагона без оформления полного комплекта перевозочных документов с указанием станции назначения. Переломным моментом в вопросах работы путей общего и необщего пользования с вагонами частных операторских компаний стал октябрь 2007 года с созданием дочернего предприятия ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») «Первая грузовая компания» (ОАО «ПГК») и происходит передача вагонов из ведения ОАО «РЖД» в распоряжение ОАО «ПГК». Вопрос изменения методов работы на путях инеобщего пользования актуален для всех предприятий промышленности, транспортных компаний и перевозчиков [1].

С точки зрения отгрузки готовой продукции на путях необщего пользования начинается процесс определения вагонов не только по технической и коммерческой годности, но и собственника подвижного состава. Данные изменения приводят к увеличению количества маневровых операций на внутризаводских станциях и, как следствие, увеличению времени нахождения вагонов на путях необщего пользования. Простой подвижного состава увеличивается так же за счет необходимости получения письменного разрешения собственника подвижного состава на отгрузку продукции в нужном направлении, несогласованностью режимов работы собственников подвижного состава и путей необщего пользования, вызванного разницей в часовых поясах. В последующие годы параллельно происходят несколько процессов – увеличивается количество вагонов и количество собственников подвижного состава. Данные изменения приводят к еще более сильным задержкам в продвижении вагонопотоков как на путях необщего пользования, так и на путях общего пользования, резкому увеличению сортировочной работы, количеству согласований направлений следования подвижного состава, переадресовкам и т.д.

Тем не менее, необходимость в обслуживании железнодорожным транспортом производств остается. Для анализа использовались пути необщего пользования крупного металлургического предприятия, имеющего разветвленную сеть внутризаводских станций и протяженностью свыше 700 км пути. За период 2011 года на пути необщего пользования поступило 417 тысяч груженых вагонов и 198 тысяч вагонов оправлено с готовой

продукцией. Пик прибытия и отгрузки готовой продукции пришелся на сентябрь месяц и был связан с поступлением рудного сырья и отгрузки по договорным отношениям готовой продукции. Наиболее подробно рассмотрены октябрь, ноябрь и декабрь 2011 года.

Общее прибытие и отправление за данный период составило 147 тысяч вагонов. Для соразмерности статистических характеристик прибывающие вагоны были разбиты на группы вагонов. Соотношение количества вагонов по группам представлено на рис. 1.

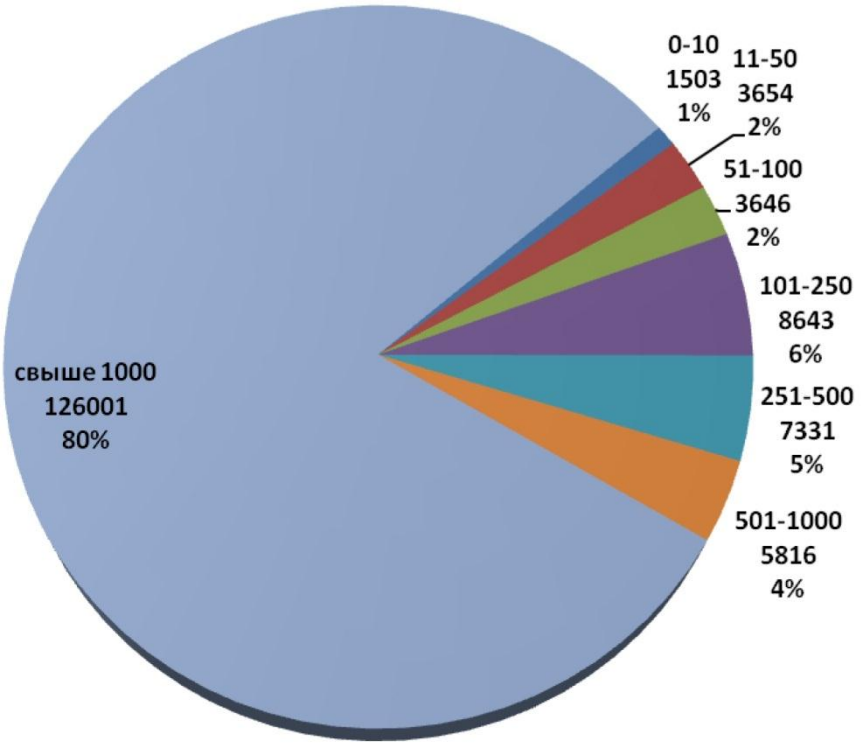


Рис. 1 – Количественное распределение вагонов по группам

Детально рассмотрено количество собственников подвижного состава по каждой группе вагонов рис. 2. наибольшее количество собственников наблюдается в группе с прибытием до 10 вагонов в месяц.

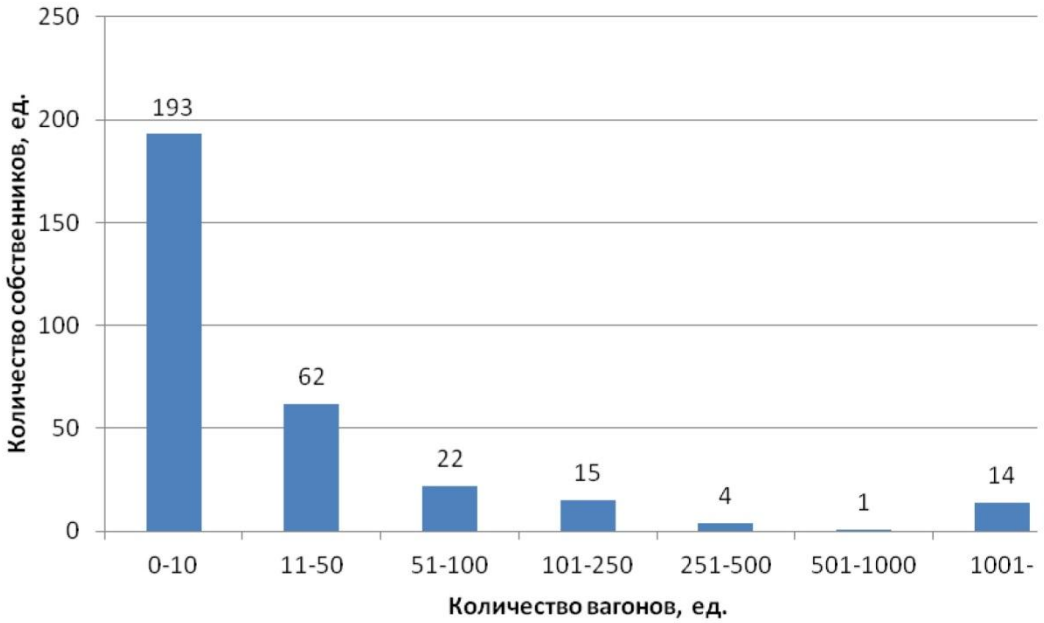


Рис. 2 – Количество собственников в группах вагонов

Анализ времени нахождения данных вагонов на пути необщего пользования рис.3 показал, что время простоя данных вагонов так же превышено, учитывая, что с 95% данных вагонов производилась только одна грузовая операция.

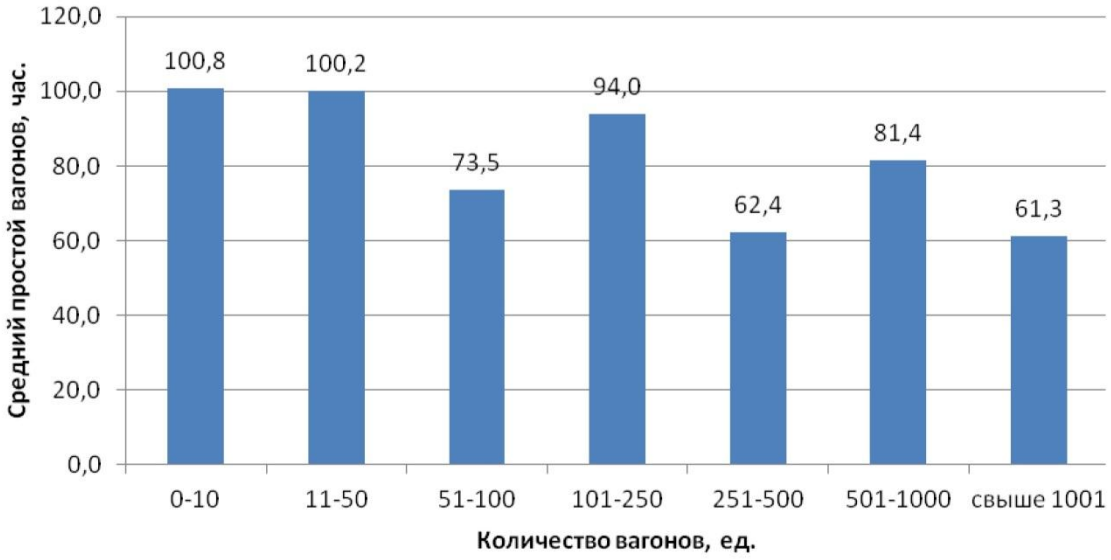


Рис. 3 – Зависимость среднего оборота вагонов от количества поступивших вагонов

Наименьший простой вагонов наблюдается в группах, где прибытие вагонов составило более 500 вагонов в месяц, данные вагоны чаще всего используются под сдвоенную операцию. На время продвижения вагонов по путям необщего пользования влияет большое количество факторов как постоянных, так и переменных. Наиболее подробно данный вопрос рассмотрен в [2]. В расчетах принимается, что данные факторы одинаково влияют на скорость продвижения вагонов по путям необщего пользования вне зависимости от мощности вагонопотока того или иного оператора.

При выборе партнеров для отгрузки готовой с путей необщего пользования был произведен методом перебора выбор собственников подвижного состава среди группы с прибытием свыше 1000 вагонов в месяц. При выборе партнеров учитывались их технические возможности (таблица 1), тарифные ставки и время оборота вагонов данных операторов по пути необщего пользования.

Таблица 1 – Количество вагонов в собственности у крупных операторов подвижного состава

Наименование оператора	ПВ	ПЛ	КР	Норма оборота, ч.	Штраф за сутки превышения, руб.	Источник информации
ОАО «ВГК»	136094	10088	24554	48	1200	Сайт www.vgk.org.ru дата обращения 10.05.2012
ОАО «ПГК»	82887	3150	16821	48	1200	Сайт www.pgkweb.ru дата обращения 10.05.2012
ООО «ММК-Транс»	2334	940	-	72	-	Сайт www.mmk-trans.ru дата обращения 10.05.2012

В результате расчета возможных вариантов и апробации в условиях путей необщего пользования выявлено, что наиболее рационально осуществлять отгрузку готовой продукции

в вагоны крупных операторских компаний, либо для небольших операторов иметь службу круглосуточного регулирования порожнего подвижного состава, что значительно сокращает время нахождения вагонов на путях необщего пользования и повышает отдачу основных фондов компаний.

Список литературы

1. *Бородин, А.Ф., Сотников Е.А.,* Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли приватных вагонов / А.Ф. Бородин, Е.А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 2011. – №3. – С. 8-19.
2. *Сиразетдинова А.Д.,* монография / А.Д. Сиразетдинова. - Магнитогорск: Издательство «Магнитогорский дом печати», 2012. – С. 24-63.

05.23.17

М.С. Хлыстунов к.т.н., Ж.Г. Могилюк к.т.н.

Московский государственный строительный университет,
Научно-исследовательский институт экспериментальной механики,
кафедра прикладной механики и математики, mcxmgsu@mail.ru

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ МНОГОЗВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье на базе закона сохранения акустической энергии исследуется механизм волнового распространения и распределения энергии динамических нагрузок в линейных многозвенных стержневых конструкциях.

Ключевые слова: *многозвенные стержневые конструкции, динамические нагрузки, волновой перенос, акустический импеданс, акустическая энергия, закон сохранения, мнимая составляющая, активная составляющая, закон Кирхгофа*.

Метрологические проблемы конечно-элементного моделирования динамического напряженно-деформированного состояния методом мгновенного статического приближения приобретают достаточную актуальность в плане исследования возможностей применения других методов моделирования, удовлетворяющих закону сохранения акустической энергии [1-7].

Настоящая статья входит в серию публикаций авторов по фундаментальным вопросам метрологической корректности алгоритмизации математических моделей динамических процессов в строительных конструкциях, в том числе в полосе частот, не содержащей резонансов и антирезонансов.

В соответствии с законом сохранения акустической энергии, например, в узле трёх стержней на рис.1, когда проходящие и отраженные волны сохраняют моду волновых колебаний, потоки акустической энергии удовлетворяют следующему уравнению:

$$U_1 S_1 = U_2 S_2 + U_3 S_3 + U_{11} S_{11} + U_{12} S_2 + U_{13} S_3 \qquad (1)$$

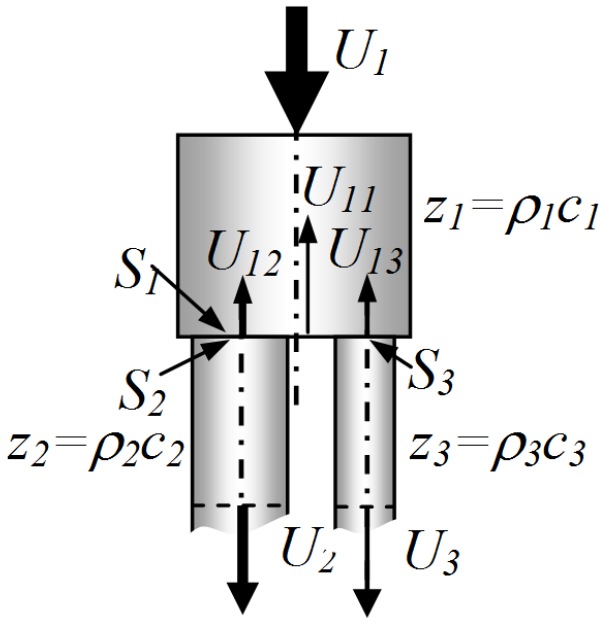


Рис. 1- Схема линейного прохождения и отражения акустической волны в узле трёх стержней

При использовании модулей коэффициентов прохождения и отражения уравнение (1) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} U_1S_1 = {} & W_{12}U_1S_2 + W_{13}U_1S_3 + V_{11}U_1(S_1 - S_2 - S_3) + V_{12}U_1S_2 + V_{13}U_1S_3 = \\ = {} & U_1\left[W_{12}S_2 + W_{13}S_3 + V_{11}\left(S_1 - S_2 - S_3\right) + V_{12}S_2 + V_{13}S_3\right] \end{aligned}, \quad (2)$$

где коэффициент отражения от свободной поверхности $V_{11}=1$, а остальные определяются выражениями

$$V_{12} = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1}, \quad V_{13} = \frac{z_3 - z_1}{z_3 + z_1}, \quad (3)$$

где $z_1 = \rho_1 c_1$, $z_2 = \rho_2 c_2$, $z_3 = \rho_3 c_3$ - соответственно, удельные акустические импедансы первого и второго стержней, равные произведению плотности на скорость упругой волны в материалах стержней, а *W к*оэффициенты прохождения

$$W_{12} = \frac{2z_2}{z_2 + z_1}, \; W_{13} = \frac{2z_3}{z_3 + z_1}. \quad (4)$$

Используя выражения (1-4), запишем уравнение для распределения полного потока акустической энергии в узле в следующем виде:

$$U_1S_1 = U_1\left[\frac{2z_2}{z_2 + z_1}S_2 + \frac{2z_3}{z_3 + z_1}S_3 + V_{11}\left(S_1 - S_2 - S_3\right) + \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1}S_2 + \frac{z_3 - z_1}{z_3 + z_1}S_3\right], \quad (5)$$

где $z_1 = \rho_1 c_1$, $z_2 = \rho_2 c_2$, $z_3 = \rho_3 c_3$ - удельные акустические импедансы материалов стержней, а $V_{11}=1$ – коэффициент отражения от свободной части поверхности правового конца первого стержня.

Откуда плотности потоков в уравнении (1) определяются по формулам:

$$U_2 = \frac{2z_2}{(z_2 + z_1)}U_1, \; U_3 = \frac{2z_3}{(z_3 + z_1)}U_1, \; U_{11} = U_1, \; U_{12} = \frac{(z_2 - z_1)}{(z_2 + z_1)}U_1, \; U_{13} = \frac{(z_3 - z_1)}{(z_3 + z_1)}U_1. \quad (6)$$

Уравнение (5) является акустическим аналогом закона Кирхгофа для электрических цепей, согласно которому сумма токов, входящих в узел, должна быть равна сумме выходящих из него. Этот закон следует из естественного условия, что заряд, а в данном случае, поток акустической энергии не может накапливаться в узле.

Причем следует отметить, что только потоки U_2S_2 и U_3S_2 закачиваются в стержни 2 и 3, а отраженные от узла потоки $U_{11}(S_1 - S_2 - S_3)$, $U_{12}S_2$ и $U_{13}S_2$ в обратном направлении, через первый стержень в случае отсутствия отражения на границе с источником возвращаются в источник.

В связи с наличием эффекта обратного отражения появляется необходимость введения понятия «реактивной» или «мнимой» составляющей импеданса акустической схемы такой конструкции. Тогда излучаемая источником плотность потока акустической энергии может быть представлена (см. рис.2) в виде суммы активной и реактивной компонент:

$$U_1 = U_a + iU_p, \quad (7)$$

где $$U_a = |U_1| Cos\varphi = U_2 + U_3, \; U_p = U_{11} + U_{12} + U_{13}. \quad (8)$$

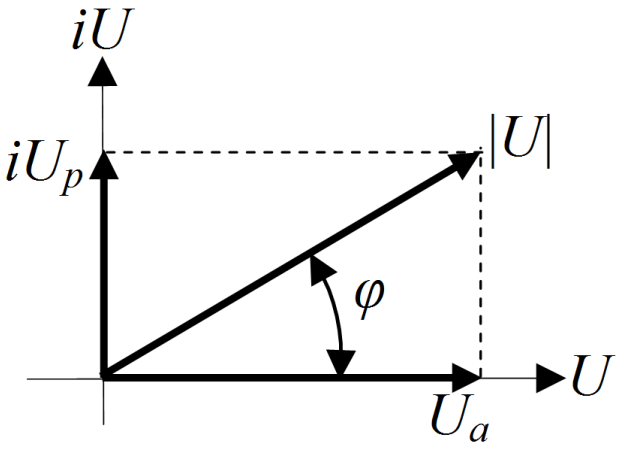


Рис. 2- Векторная диаграмма активной и реактивной составляющих потока акустической энергии

Комплексное представление плотности потока акустической энергии, излучаемого в конструкцию, позволяет дать физически корректную интерпретацию процессов взаимодействия конструкции с источником: «Активная составляющая потока затрачивается на безвозвратную передачу акустической энергии в стержни конструкции и диссипативные потери, а реактивная, в результате реализации эффектов отражения, возвращается в источник, не совершая, при этом, передачи энергии в стержневую систему конструкции».

В случае наличия затухания волны $\beta_1 \neq 0$ в первом стержне уравнение (1) примет вид:

$$U_1 S_1 = \tilde{U}_2 S_2 + \tilde{U}_3 S_3 + \tilde{U}_{11} S_{11} e^{-2\beta_1 L} + \tilde{U}_{12} S_2 e^{-2\beta_1 L} + \tilde{U}_{13} S_3 e^{-2\beta_1 L} \qquad (9)$$

где плотности потоков в уравнении (9), в отличие от (6) определяются по формулам:

$$\tilde{U}_2 = \frac{2z_2}{(z_2 + z_1)} \tilde{U}_1,\ \tilde{U}_3 = \frac{2z_3}{(z_3 + z_1)} \tilde{U}_1,$$

$$\tilde{U}_{11} = \tilde{U}_1 e^{-2\beta_1 L},\ \tilde{U}_{12} = \frac{(z_2 - z_1)}{(z_2 + z_1)} \tilde{U}_1 e^{-2\beta_1 L}, \qquad (10)$$

$$\tilde{U}_{13} = \frac{(z_3 - z_1)}{(z_3 + z_1)} \tilde{U}_1 e^{-2\beta_1 L},\ \tilde{U}_1 = U_1 e^{-2\beta_1 L_1}.$$

Данная интерпретация и аргументация в пользу комплексного представления параметров динамических процессов и акустических характеристик стержневых конструкций с энергетической точки зрения является, на наш взгляд, более адекватной и физически последовательной, по сравнению с прямым введением понятия комплексного акустического импеданса:

$$z = z_a + i z_p, \qquad (11)$$

при корректной физической интерпретации которого, так или иначе, придется возвращаться к схеме анализа прямых («работающих» или принятых системой стержней) потоков акустической энергии и обратных (отраженных, то есть не принятых системой).

Список литературы

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. –М.: Наука, 1973, 343 с.
2. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Возбуждение основного акустического резонанса в консольном стержне при динамических нагрузках.// Научно-технический вестник Поволжья, №5, 2012 с.363-368
3. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Возбуждение гармоник продольного резонанса в консольном стержне при динамических нагрузках.// Научно-технический вестник Поволжья, №5, 2012 с. 357-362
4. *Скучик Е.* Простые и сложные колебательные системы. –М.: МИР, 1971, 558с.
5. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. –М.: Наука, 1967, 444с.
6. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Геоэкологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», - М.: ВНИИНТПИ, №3, 2003,
7. Ультразвук. Под ред. *И.П. Галямина.* –М.: Советская энциклопедия, 1979, 400 с.

05.23.17

М.С. Хлыстунов к.т.н., Ж.Г. Могилюк к.т.н.

Московский государственный строительный университет,
Научно-исследовательский институт экспериментальной механики,
кафедра прикладной механики и математики, mcxmgsu@mail.ru

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье на базе закона сохранения акустической энергии исследуется механизм распространения и распределения энергии динамических нагрузок в линейных стержневых конструкциях.

Ключевые слова: *стержневые конструкции, динамические нагрузки, акустическая энергия, механизм волнового переноса, закон сохранения*.

Развитие теории и методов математического моделирования на современном этапе вплотную подошло к проблеме алгоритмизации динамических моделей строительных конструкций, учитывающих волновой характер распространения динамических перемещений и напряжений [1-7]. До настоящего времени подобная задача решалась, например, путем введения в квазистатическую конечно-элементную модель динамических коэффициентов и решения задачи методом мгновенного статического приближения.

Однако такой подход не более чем формально решал проблему динамического моделирования без учета требований законов сохранения акустической энергии, импульса и момента импульса.

Учитывая фундаментальный характер поставленной задачи, рассмотрим схемы реализации закона сохранения акустической энергии для одномерных стержневых конструкций.

В случае возбуждения волнового процесса в бесконечном стержне без затухания на рис.1 закон сохранения акустической энергии может быть представлен в виде простого равенства для потоков или плотности потоков акустической энергии с размерностью $[U]=[\text{вт/м}^2]=[\text{дж/м}^2\text{сек}]$

$$U_{вх}S=U_{вых}S \quad \text{или} \quad U_{вх}=U_{вых}\,. \tag{1}$$

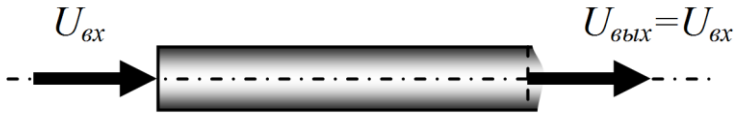


Рис.1- Схема прохождения акустической волны
в бесконечном стержне без затухания

В случае волнового процесса в бесконечном стержне с затуханием на рис.2 в уравнение закона сохранения вводится дополнительный член, равный величине потерь акустической энергии

$$U_{вых}= U_{вх} - U_{потерь}, \tag{2}$$

где $U_{потерь} = (1 - e^{-2\beta x})U_{вх}$, β – удельный коэффициент потерь или затухания акустической волны (на единицу длины пробега волны), x – длина пробега волны динамической нагрузки вдоль стержня.

В случае реального стержня конечной длины на рис.2, соединенного с неотражающим источником акустической волны, и с другим, например, бесконечным стержнем равного сечения, выражение для плотности потоков энергии

$$U_{вых}=U_{пр}=U_{вх}-U_{потерь}-U_{отр}= U_{вх}e^{-2\beta x} - U_{отр} \quad (3)$$

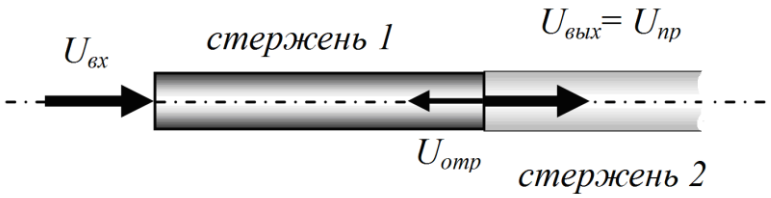


Рис.2- Схема прохождения и отражения акустической волны на границе двух стержней

Коэффициент отражения волны от границы между стержнями при нормальном падении определяется выражением

$$V_{12} = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1}, \quad (4)$$

где $z_1 = \rho_1 c_1$, $z_2 = \rho_2 c_2$ - соответственно, удельные акустические импедансы первого и второго стержней, равные произведению плотности на скорость упругой волны в материалах стержней.

Коэффициент прохождения границы W определяется выражением

$$W = \frac{2z_2}{z_2 + z_1}. \quad (5)$$

В случае наличия затухания волны в первом стержне

$$U_{вых} = W(U_{вх} - U_{потерь}) = WU_{вх}e^{-2\beta_1 L}, \quad (7)$$

где β_1 – коэффициент затухания волны динамической нагрузки в материале первого стержня.

В статической теории упругости, как показано, например, в работе [6], при возникновении в твердой упругой среде статического НДС в ней распределяется только удельная потенциальная энергия упругих деформаций, которая определяется формулой Клапейрона:

$$w_{ст} = 0,5(\sigma_{11}\varepsilon_{11} + \sigma_{22}\varepsilon_{22} + \sigma_{33}\varepsilon_{33} + \sigma_{12}\gamma_{12} + \sigma_{23}\gamma_{23} + \sigma_{31}\gamma_{31}) \quad (8)$$

и может быть представлена в более общей тензорной форме:

$$w_{ст} = 0,5\sum_{i=j=1}^{3}\sigma_{ij}\varepsilon_{ij} + 0,25\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{3}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{3}\sigma_{ij}\gamma_{ij}. \quad (9)$$

При динамическом возбуждении, например, твердого тела применение формулы Клайперона (применяемой, как правило, только для статического напряженно-деформированного состояния [8]), не будет корректным, так как удельная энергия упругих волновых деформаций среды будет равна сумме двух компонент - упругой и кинетической:

$$w_{дин} = w_{упр} + w_{кин}\,. \tag{10}$$

Упругая составляющая $w_{упр}$, сохраняя форму представления, в общем случае, будет принципиально отличаться по физической сущности от тензорных компонент формулы (9), которые должны быть заменены динамическими:

$$w_{упр} = 0{,}5\sum_{i=j=1}^{3}\tilde{\sigma}_{ij}\tilde{\varepsilon}_{ij} + 0{,}25\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{3}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{3}\tilde{\sigma}_{ij}\tilde{\gamma}_{ij}\,. \tag{11}$$

где, например, для гармонических нагрузок компоненты тензора динамических напряжений можно представить, например, в виде

$$\tilde{\sigma}_{ij} = \hat{\sigma}_{ij}\left[a_{ij}^{\sigma}cos(\omega t) + b_{ij}^{\sigma}\omega sin(\omega t)\right], \tag{12}$$

где $\hat{\sigma}_{ij}, \tilde{\sigma}_{ij}$, - соответственно, амплитуды и текущие значения компонент тензора динамических напряжений, $a_{ij}^{\sigma}, b_{ij}^{\sigma}$ - гармонические коэффициенты для соответствующих компонент тензора динамических напряжений.

Проведенный выше анализ потоков акустической энергии динамических напряжений и деформаций подтверждает наличие существенного отличия энергетических закономерностей статического и динамического нагружения твердых тел.

По аналогии с формулой (11) для удельной упругой энергии кинетическая энергия, на первый взгляд, может быть представлена выражением:

$$w_{кин} = 0{,}5\sum_{i=j=1}^{3}\rho v_{ij}^{2} + 0{,}25\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{3}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{3}\rho v_{ij}^{2}\,. \tag{13}$$

Однако наряду с законом сохранения акустической энергии для динамических процессов в общем случае (то есть, когда волна содержит продольные и поперечные моды колебаний) должны выполняться как законы сохранения импульса так и момента импульса.

В связи с этим корректность формулы (13) в части соответствия условиям выполнения этих законов для поперечных волн будет рассмотрена в следующих статьях настоящей серии.

Список литературы

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. –М.: Наука, 1973, 343 с.
2. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Возбуждение основного акустического резонанса в консольном стержне при динамических нагрузках.// Научно-технический вестник Поволжья, №5, 2012 с.363-368
3. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Возбуждение гармоник продольного резонанса в консольном стержне при динамических нагрузках.// Научно-технический вестник Поволжья, №5, 2012 с. 357-362
4. *Скучик Е.* Простые и сложные колебательные системы. –М.: МИР, 1971, 558с.
5. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. –М.: Наука, 1967, 444с.
6. *Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Геоэкологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», - М.: ВНИИНТПИ, №3, 2003, 16 с.
7. Ультразвук. Под ред. *И.П. Галямина.* –М.: Советская энциклопедия, 1979, 400 с.
8. *Новацкий В.* Теория упругости [Текст]/ В.Новацкий. –М.: Изд. «Мир», 1975. - 712 с.

05.13.01

В.П. Хранилов д.т.н., Д.А. Ляхманов, Ю.В. Соколова

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
кафедра информатики и систем управления,
Н.Новгород, dm.virger@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АНАЛИЗОМ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В работе решается задача оптимизации параметров (ширины скользящего окна и интервала разбиения) спектрального метода прогнозирования временных рядов с нестабильной динамикой и частой сменой тенденций развития с целью повышения точности прогноза. В качестве критерия используется коэффициент вариабельности, описывающий степень неупорядоченности временного ряда.

Ключевые слова: *спектральный анализ, временной ряд, коэффициент вариабельности.*

В настоящее время актуальны задачи мониторинга, контроля и прогнозирования технических состояний сложных систем для предотвращения аварийных ситуаций и реализации процедур их эффективного обслуживания. Состояние реального объекта описывается совокупностью значимых технических параметров, представляющих собой развивающиеся во времени многопараметрические процессы. Закономерности изменения одних параметров могут коррелировать с другими параметрами, как внутренними, так и внешними, что делает процедуру построения прогноза технических состояний достаточно трудоемкой и, в большинстве случаев, мало эффективной.

Для решения задач прогнозирования успешно применяют спектральный анализ временных рядов, характеризующих изменение диагностических признаков объектов. В работах [1, 2] предложен метод прогнозирования параметров на основе анализа динамики спектральных составляющих (АДСС), позволяющий строить прогноз в условиях отсутствия априорной информации о логической структуре и взаимозависимостях параметров. В результате работы этого метода осуществляется выявление и экстраполирование тенденций изменения спектральных отображений прогнозируемых временных рядов. Метод эффективен для прогнозирования временных рядов с нестабильной динамикой и частой сменой тенденций развития.

Каждое спрогнозированное значение может быть представлено суммой действительного значения и ошибки, следующим образом: $x_i = x_i^{pred} + \Delta x$, где Δx – ошибка прогнозирования, x_i^{pred}– прогнозное значение, x_i – фактическое значение временного ряда. Оценка средней ошибки прогноза $\overline{\Delta x}$ может быть вычислена по следующей формуле:

$$\overline{\Delta x} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i^{pred} - x_i)}{N}$$

где x_i – значения параметров фактического интервала, x_i^{pred} – значения из спрогнозированного интервала, N – длина спрогнозированного интервала.

В данном исследовании для поиска квазиоптимальных значений параметров метода АДСС предлагается использовать коэффициент вариабельности [3], характеризующий распределение энергии шумовой составляющей по спектральным фракциям и являющийся показателем хаотичности ряда:

$$K = \frac{{}^{1}\!/_{N}\sum_{i=1}^{N-1}|x_{i+1} - x_i|}{|M[x]|}$$

где $M[x]$ - математическое ожидание ряда, x_i – значения i-го элемента исследуемого ряда.

Вариабельность представляет собой оценку неупорядоченности временного ряда и может быть использована как критерий его прогнозируемости. В основу данного утверждения положено предположение о том, что, чем более детерминированным является процесс, тем более точная модель может быть для него построена и тем более точным окажется прогноз. Детерминированные процессы с четкими математическими моделями имеют меньшие значения коэффициента вариабельности, в то время как для процессов с выраженной шумовой составляющей его значение может быть достаточно большим.

При изменении количества спектральных фракций, участвующих в процессе прогнозирования, можно так же изменять и количество случайной и статистической составляющих, входящих в итоговый прогноз. Таким образом, анализируя значения коэффициента вариабельности для различных параметров прогнозирования, можно сделать вывод о таких параметрах метод АДСС, при которых оценка средней ошибки прогноза будет минимальной.

В качестве примера исследуем сильно зашумленный временной ряд биржевых индексов Доу-Джонса (Dow Jones Industial Average - DJIA). Динамика его поведения показана на графике (рис. 1).

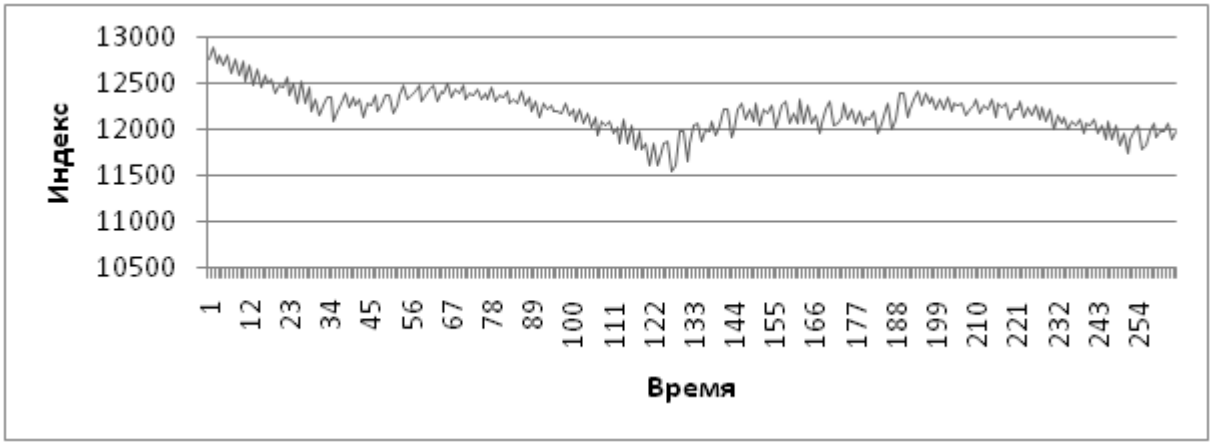


Рис. 1. Временной ряд биржевых индексов DJIA

В результате моделирования для данного временного ряда получили следующие зависимости коэффициента вариабельности от ширины окна и его сдвига (рис. 2). Локальные минимумы представляют область оптимальных параметров метода прогнозирования АДСС. Как видно из рисунков, наилучшие значения параметров соответствуют коэффициенту вариабельности со значением, лежащим в интервале 0-0,0005, при этом шаг скользяшего окна варьируется в пределах от S=1 до S=4. В результате исследований было замечено, что значение коэффициента вариабельности прямо пропорционально шагу скользящего окна.

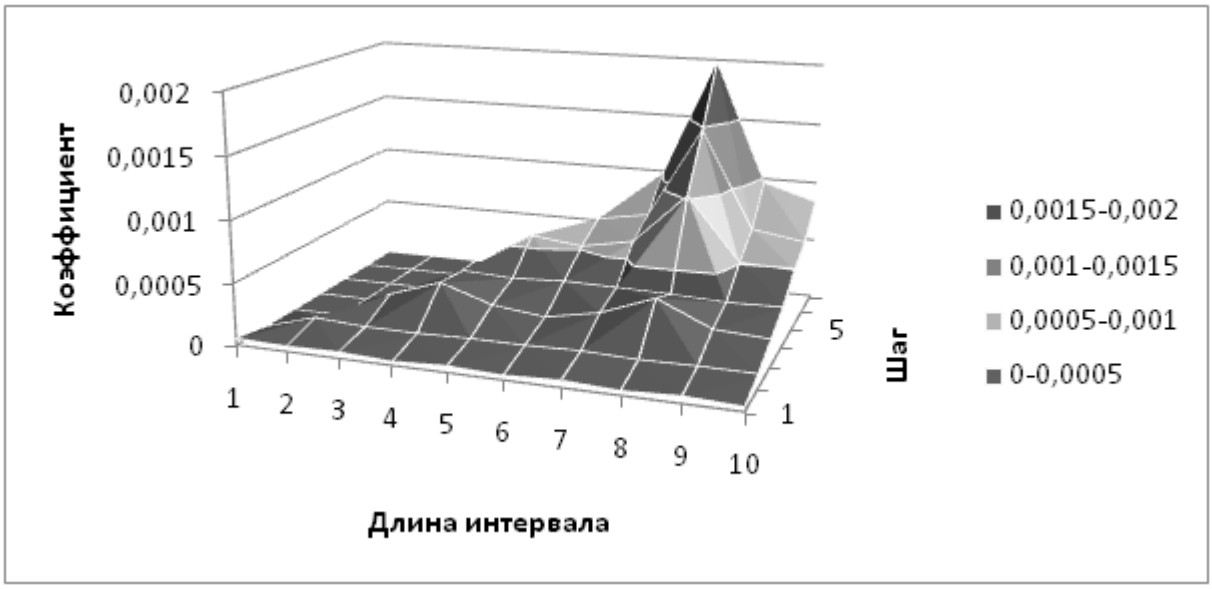


Рис. 2. Графическое представление результатов при ширине окна от *L*=1 до *L*=10 и шаге от *S*=1 до *S*=7

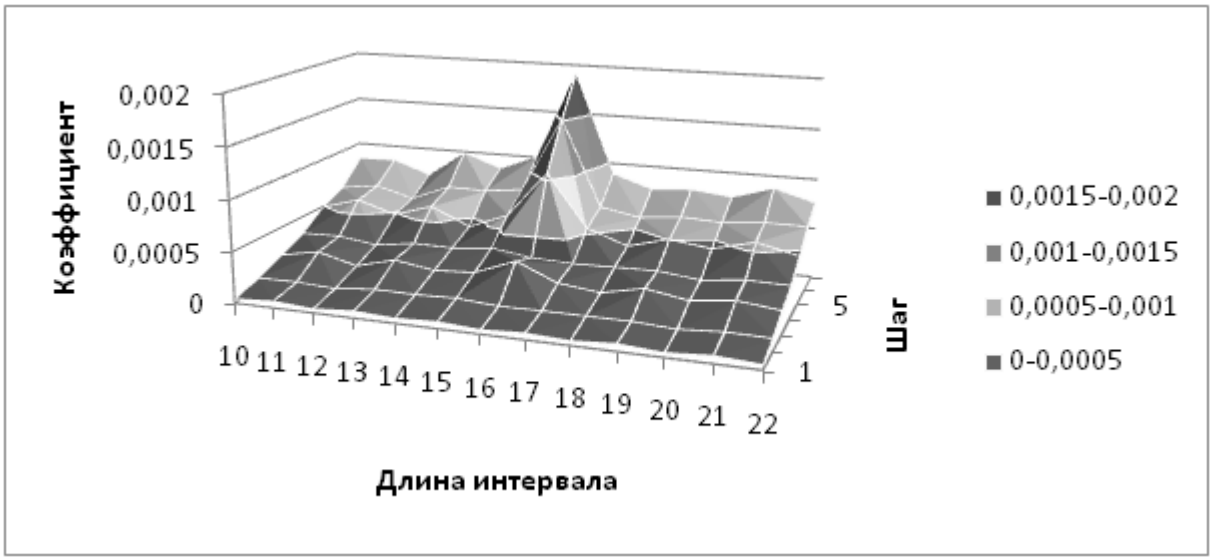


Рис. 3. Графическое представление результатов при длине интервала от *L*=10 до *L*=22 и шаге от *S*=1 до *S*=7

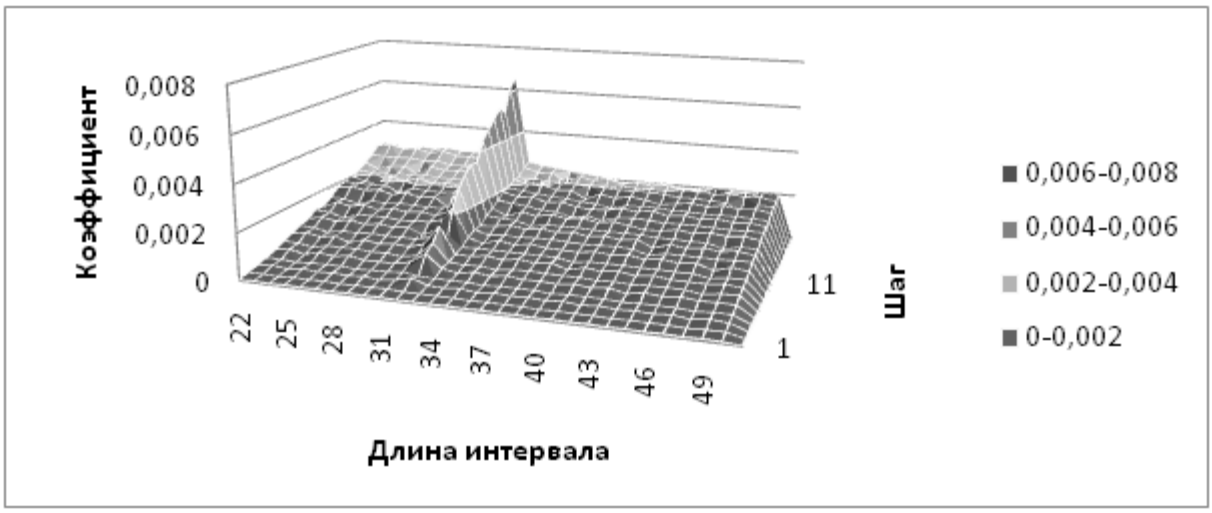


Рис. 4. Графическое представление результатов при длине интервала от *L*=22 до *L*=50 и шаге от *S*=1 до *S*=20

Результаты моделирования показали, что предложенный алгоритм определения оптимальных параметров метода прогнозирования АДСС позволяет сократить время получения прогноза при анализе временного ряда из 262 отсчетов в 2,5 раза по сравнению со случаем полного перебора решений. При этом ошибка прогноза снижается в среднем на 4%. Эти значения варьируются с увеличением длины анализируемого временного ряда, имея тенденцию повышения эффективности разработанного метода.

Кроме того, в результате анализа алгоритма, реализующего метод АДСС, было определено узкое место, влияющее на время его работы - достаточно большое время реализации функции преобразования Фурье для построения спектральной матрицы, что значительно снижало время получения упреждающего прогноза. Время вычисления коэффициента вариабельности при анализе временного ряда из 262 отсчетов, длине интервала от L=10 до L=100 и шаге от S=1 до S=40 составила около 90 секунд. Характеристики компьютера, на котором проводились исследования: процессор Intel Core 2 Duo, T6670 2.2GHz, 3GRAM, Windows 7 Professional. В этой связи возникла необходимость минимизировать время поиска степени неупорядоченности спектрального ряда. В результате был разработан метод, в котором рекурсивный алгоритм построения быстрого преобразования Фурье (БПФ) был заменен на линейный алгоритм с побитовыми операциями. При этом время вычисления коэффициента вариабельности при тех же параметрах расчетов составило 9 секунд, что в 10 раз меньше времени реализации рекурсивного алгоритма ДПФ.

Таким образом, оптимизация параметров спектрального метода прогнозирования и уменьшение времени обработки данных позволило значительно повысить эффективность прогнозов.

Список литературы

1. *Кликушин Ю.Н.* Классификационные шкалы для распределения вероятностей //Журнал радиоэлектроники.-2000.,-№11., htpp://jre.cplire.ru.
2. *Соколова Э.С., Ляхманов Д.А.* Метод прогнозирования на основе динамики спектральных составляющих //Информационно-измерительные и управляющие системы.-2011.-№3.-С.65-71.
3. *Соколова Э.С., Ляхманов Д.А.* Выделение детерминированной компоненты элементов временных рядов методом спектрального анализа //Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского .- 2011- №5, часть3.- С.181-184.

05.13.12

В.В. Шведенко к.э.н., О.В. Щекочихин к.т.н., В.А. Ипатов

ООО «РЕГУЛ+» - резидент Инновационного центра «Сколково»,
Санкт-Петербург, shvn.d3@mail.ru

АГРЕГИРОВАНИЕ ДАННЫХ В ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СУБД «COBRA++»

В работе представлены результаты исследований в области построения архитектуры объектно-ориентированных хранилищ данных, которые встраиваются в систему управления процессами предприятия. Предлагается объединение функций накопления данных и принятие на их основе управленческих решений в интегрированной программной среде.

Ключевые слова: *хранилище данных, управление процессами, интегрированные системы.*

Современные СУБД ориентированы на хранение, поиск, архивирование, сохранение целостности и другие методы работы с данными [2]. Если для подготовки и принятия управленческих решений использовать только результаты запросов к базам данных, то они обладают ограниченными возможностями. Для решения задач стратегического планирования применяется OLAP-анализ, который агрегирует данные под конкретные условия и может осуществлять ретроспективный анализ того или иного бизнес-процесса или состояние производственной системы в целом. Поэтому можно говорить о реализации двух главных функций в современных системах обработки данных. Во-первых, это функции сбора, хранения и других операций с данными. Во-вторых, подготовки информационных массивов в том виде, в котором они будут подготовлены для принятия управленческих решений. В настоящее время эти функции реализуются различными программными средствами [1]. Интеграция этих функций даже в пределах линейки программного обеспечения (ПО) одной и той же фирмы-производителя доступна только крупным компаниям, так как для этого требуются значительные финансовые и временные ресурсы.

В настоящей работе предлагается архитектура объектно-ориентированной СУБД, которая позволяет осуществлять накопление, обработку и анализ данных в управляющей информационной системе и одновременно поддерживать систему принятия управленческих решений.

Хранилище объектно-ориентированных многомерных данных организовано в виде многослойной структуры. Каждый слой состоит из набора слотов. Слот представляет собой контейнер, который имеет некоторую инвариантную структуру (является ноу-хау фирмы ООО «РЕГУЛ+»), позволяющую хранить коллекции многомерных данных, и которая остается неизменной на протяжении всего жизненного цикла информационной системы. В слотах осуществляется хранение данных об управляемом бизнес-процессе, данные об объекте управления и данные-показатели бизнес-процесса, по которым судят о состоянии производственной системы. Слоты формируются по слоям таким образом, чтобы каждый слой характеризовал производственную систему на соответствующем уровне управления [3].

В слотах нулевого слоя накапливается оперативная информация о результатах фактического исполнения каждого этапа бизнес-процессов организации. Циклы заполнения слотов определяются регламентом исполнения бизнес-процессов. Они же определяют время завершения транзакций хранилища данных нулевого слоя. Под бункерами данных понимается набор слотов нулевого слоя, относящихся к набору бизнес-процессов, контролируемых информационно-управляющей системой в заданный промежуток времени. По мере развития организации и увеличения формализованных бизнес-процессов в организации увеличивается и число бункеров накопления первичных данных (см. рис.1).

Рис. 1- Структура оперативных данных, хранимых в слоте нулевого уровня

Для анализа исполнения каждого этапа бизнес-процесса могут использоваться один или несколько показателей. Для каждого из них расчетным путем вычисляются:

- показатели отклонения значений фактических результатов от установленных нормативов. Предполагается, что нормативные значения могут пересматриваться;
- ресурсные показатели достижения значений фактического показателя. Это может быть агрегированный показатель или совокупность показателей;
- показатели эффективности достижения целей управления.

Кроме того производится фиксация отклонений полученных значений по каждому этапу БП в журнале отклонений, в котором содержится вся их история и который нужен для проведения причинно-следственного анализа и выявления причин отклонений.

Расчет показателей производится непосредственно организационным автоматом (ОА) в момент завершения каждого этапа бизнес-процесса по соответствующим алгоритмам, исполнение которых поддерживается службой управления событиями в системе [4].

Данные, находящиеся в бункерах агрегируются в целях их дальнейшего использования при принятии управленческих решений. Дальнейшие слои хранилища данных формируются в соответствии с деревом целей организации.

Масштабирование агрегирования данных может быть представлено в виде следующей иерархической схемы (см. рис.2).

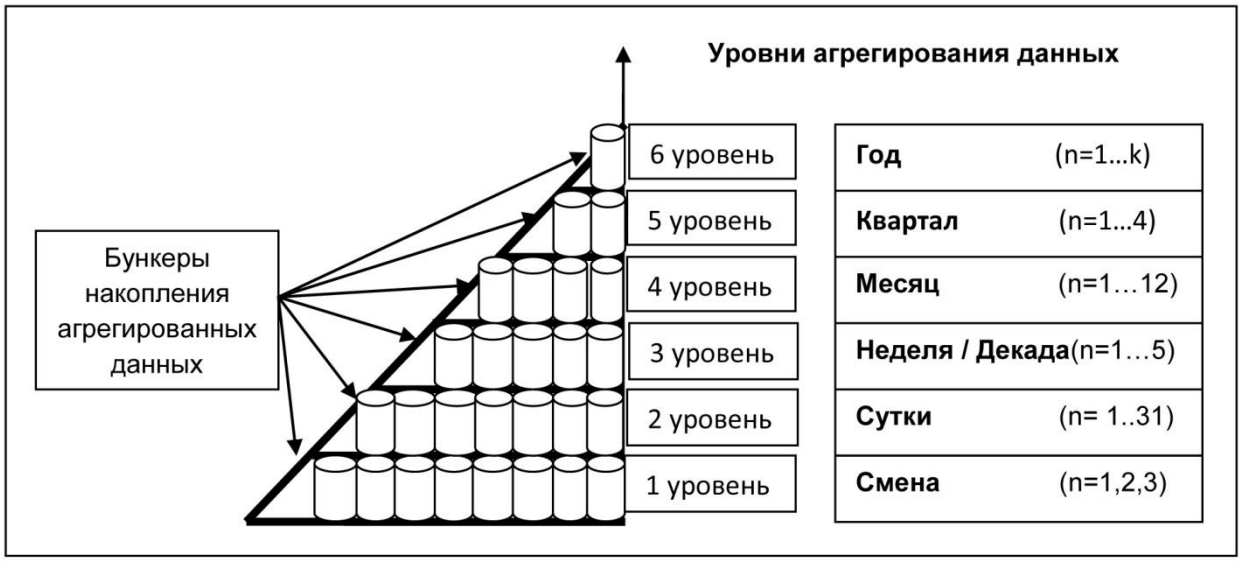


Рис. 2- Принципиальная схема агрегирования данных

Предложенный способ хранения агрегированных данных обеспечивает возможность пользователю определять размер дискретности анализируемой информации. Например, прослеживать тенденцию изменения значений показателя по дням, месяцам, годам и т.д. В случае, если анализ предполагает обработку данных нарастающим итогом, или требуется определить значение показателя за какой-то обозначенный период, производится их вычисление на основе имеющихся массивов хранимых агрегированных данных.

Для запросов, которые повторяются периодически, формируются типовые решения, и данные берутся из спроектированных заранее контейнеров. Оригинальный запрос может формироваться самим пользователем в режиме проектирования и исполнения оригинального алгоритма расчета значения показателя. При этом сбор данных с соответствующего уровня агрегации на другой производится автоматически с помощью ОА.

Для каждого бункера данных определятся цикл его пополнения путем их агрегации. Периодичность агрегации соответствует некоторым временным циклам, которые закладываются в систему. Следует отметить, что значения агрегированных данных не удаляются из соответствующих бункеров и могут использоваться многократно (см. рис. 3).

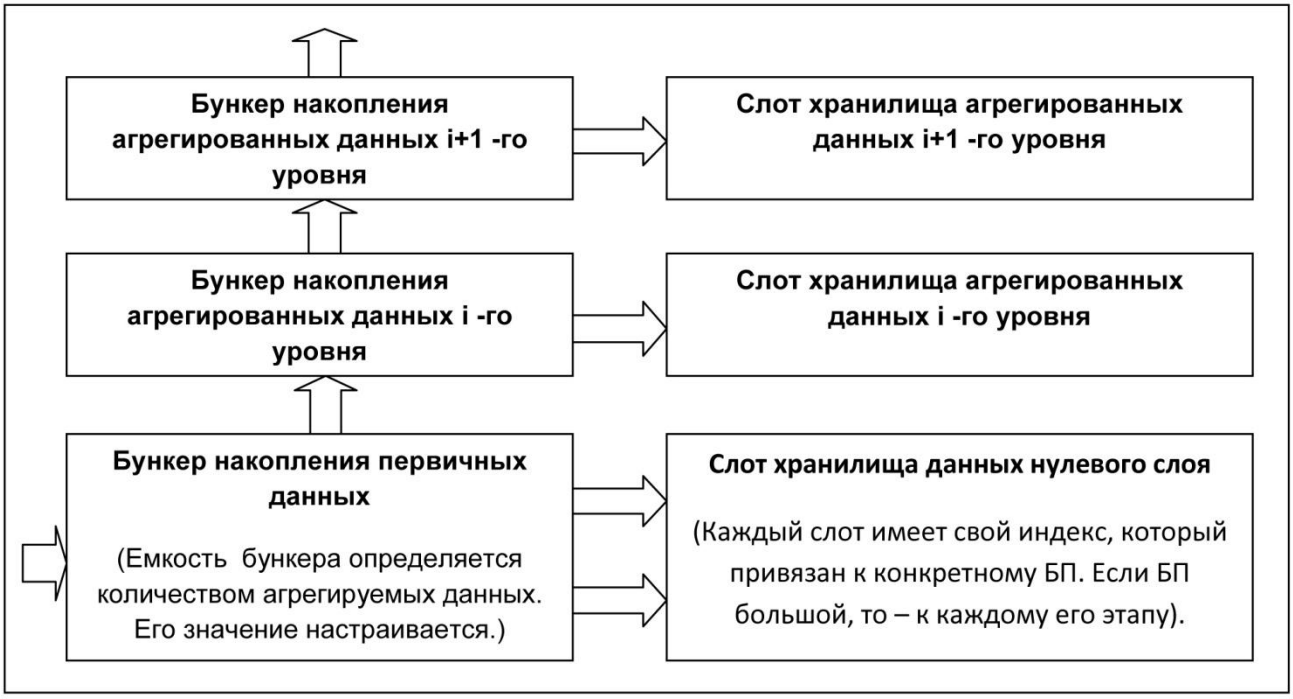


Рис. 3- Схема движения агрегированных данных

В общем виде оперативные первичные и агрегированные по временным периодам данные можно представить в виде следующей схемы (см. рис. 4).

Представленные агрегированные оперативные данные являются основой (базой) для проведения различных аналитических исследований ретроспективного и прогнозного характера. Поэтому этот вид агрегации можно назвать базовой агрегацией оперативных данных (БАОД).

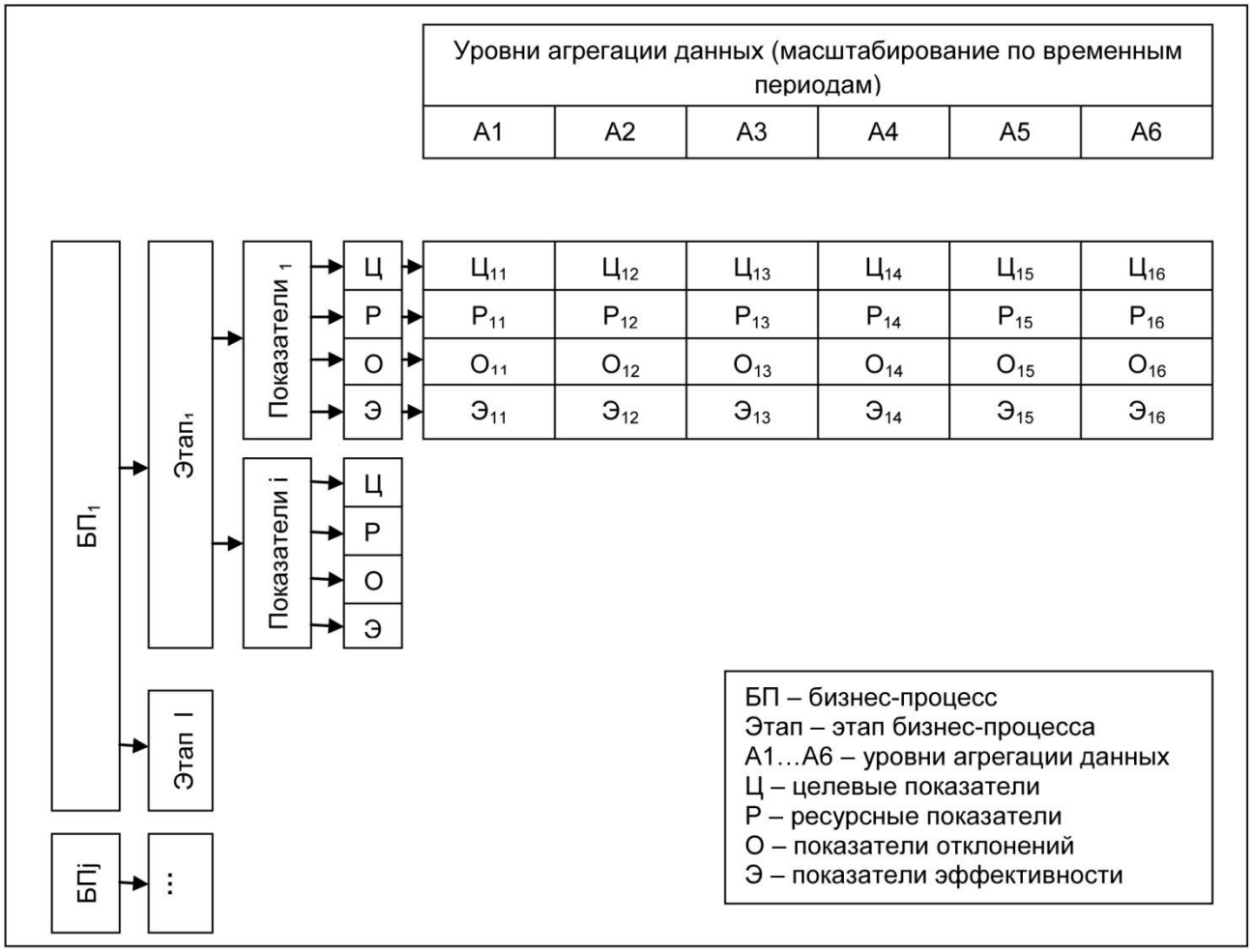


Рис. 4- Схема представления агрегированных данных по исполнению каждого этапа каждого формализованного бизнес-процесса организации

Вычисляемые агрегированные значения данных (ВАЗД) в зависимости от частоты обращения к ним пользователей могут либо храниться в соответствующих слотах хранилища данных, либо быть получены при запросе через вычисления, производимые ОА.

Предложенная архитектура агрегирования процессно-ориентированных данных реализована в прототипе ОО СУБД «COBRA++». Результаты запросов к первичным и к агрегированным данным позволяют формировать срезы многомерных данных, которые передаются в модуль аналитической обработки данных. Этот модуль позволяет формировать альтернативы для разрешения различных проблемных ситуаций. В системе реализован метод парных сравнений для оценки альтернатив принимаемых решений [5].

Список литературы

1. *Когаловский М.Р.* Перспективные технологии информационных систем. – М.: ДМК Пресс; М.: Компания АйТи, 2003. – 288 с.
2. *Коннолли Т, Бегг К, Страчан А.* Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. –М.: Изд-во «Вильямс», 2000. –1120 с.
3. Моделирование адаптивной системы управления промышленным предприятием. / М.Л.Постников, В.В.Шведенко, В.Н.Шведенко, О.В.Щекочихин – Кострома: изд-во общества «Знание», 2010 – 168 с.
4. Свидетельство №2012616122о государственной регистрации программы для ЭВМ «Служба авторизации Cobra++». Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 10.09.2012
5. Свидетельство №2011610472 о государственной регистрации программы для ЭВМ «Адаптивная экспертная система - Эксперт» («AdES - Expert»). Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 11.01.2011

05.13.11

М.М. Шихов

Вятский государственный университет,
факультет автоматики и вычислительной техники,
кафедра электронных вычислительных машин,
Киров, kaf_evm@vyatsu.ru

МАШИНА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА С ОБОБЩЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИМВОЛОВ И ВЫЧИСЛЕНИЯМИ НА ПОДСТАНОВКАХ

В работе предлагается машина параллельного логического вывода на знаниях, представленных формулами исчисления предикатов первого порядка. Определяется место машины в составе системы логического вывода и приводится обобщённая структура машины. Описываются особенности используемого машиной метода вывода, а также синтаксиса и семантики машинного языка. Раскрывается структура и алгоритм работы блока обобщения функциональных символов и вычислений. Приводится пример вывода и даётся оценка машины.

Ключевые слова: *параллельный логический вывод, логика предикатов, вычисления, машина логического вывода.*

Использование параллельных методов логического вывода позволяет повысить производительность систем обработки знаний. Большое значение для повышения производительности также имеет способ сочетания логического вывода и вычислений. Под вычислениями в работе понимаются преобразования значимых для решения прикладных задач данных: чисел, строк и т.д. Выделение блока вычислений в составе машины логического вывода позволяет: использовать наиболее удобные представления вычислимых значений в составе логических правил; сократить объемы баз знаний; повысить скорость решения многих прикладных логических задач; полнее задействовать возможности традиционных компьютеров или элементной базы при программной или аппаратной реализации машины логического вывода в целом.

Система логического вывода. Структура системы логического вывода (системы обработки знаний) приведена на рис. 1.

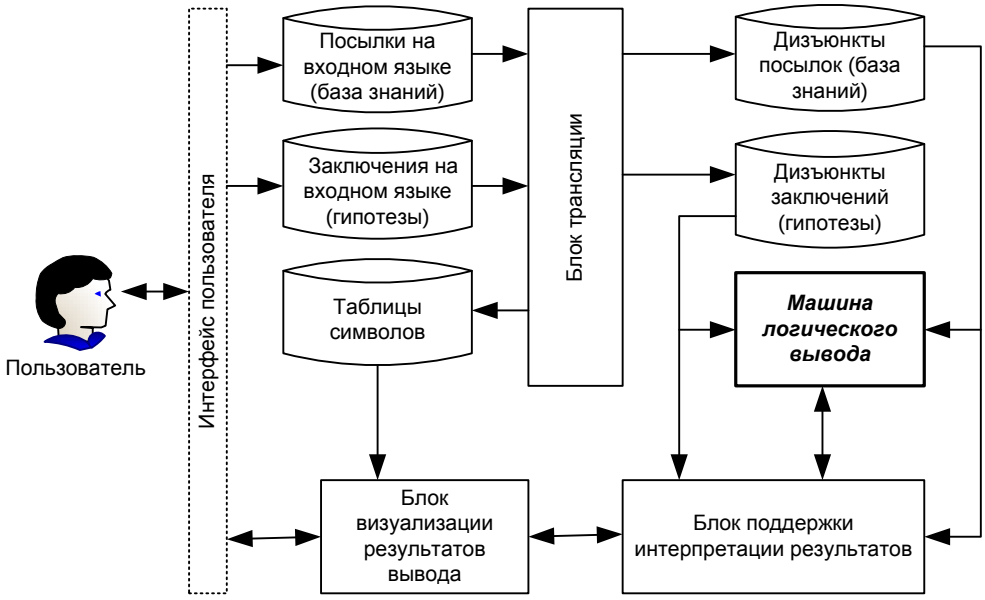


Рис. 1 – Система логического вывода

Ядром системы является машина логического вывода. Перед запуском машины, правила входного декларативного языка системы транслируются в эквивалентные правила языка машины логического вывода (далее – машинный язык). В ходе трансляции также отделяется символьная информация, например, имена предикатов, переменных, констант и т.д., заменяются на более компактные идентификаторы. Выдаваемые машиной результаты преобразуются блоком поддержки интерпретации в удобную для восприятия форму, а символьная информация восстанавливается блоком визуализации результатов. Процесс работы с результатами вывода интерактивен, поэтому машина логического вывода позволяет не только выполнить вывод целиком, но и смоделировать его отдельные шаги по требованию блока интерпретации результатов.

Особенности метода вывода. В основу метода, реализуемого машиной, положен метод обобщённого параллельного дедуктивного вывода в логике предикатов первого порядка [2]. Ключевой особенностью как взятого за основу, так и реализуемого машиной методов является то, что для вывода они используют правила, требующие, чтобы, как исходные посылки базы знаний, так и выводимое заключение были представлены дизъюнктами. Задачу преобразования формул входного языка в набор дизъюнктов машинного языка решает блок трансляции в составе системы.

Машиной реализуется двунаправленный метод параллельного логического вывода с обобщением функциональных символов и вычислениями на подстановках [3].

Машинный язык. Введённая в [3] модификация накладывает отпечаток, как на входной язык системы, так и на машинный язык. Синтаксические особенности базовых конструкций для данных языков общие. С помощью контекстно-свободной грамматики они могут быть определены следующим образом (на рис.2 жирным выделены терминальные символы языков).

1. rules←rule; | rules rule;
2. rule←formulae | formulae lcu
3. literal←**idLiteral**(termlist)
4. termlist←term | termlist,term
5. term←**idVar** | **idConst** | value | term(termlist) | evaluator
6. value←**function** | **number** | **string** |…
7. evaluator←**eval** term | **eval** term {constvalues}
8. constvalues←constvalue | constvalues,constvalue
9. constvalue←**idConst**=term
10. lcu←{sublist}
11. sublist←sub | sublist,sub
12. sub←term/**idVar**

Рис. 2 – Общие элементы синтаксиса языков

База знаний и заключения представляют собой набор правил (rules). Отдельное правило (rule) может состоять из одной логической формулы (formulae) или из формулы, за которой следует подстановка (lcu). Подстановка есть множество замен (sub) предметных переменных (**idVar**). Формула входного языка формируется из литералов с помощью операций отрицания, конъюнкции, дизъюнкции и импликации, а также скобок. Формула машинного языка представляет собой конъюнкцию дизъюнктов, эквивалентную формуле входного языка.

Поддержка вычислений вводится на уровне термов (term) машинного языка. Термом является: предметная переменная (**idVar**), предметная константа (**idConst**), значение (value) некоторого важного для решения прикладной задачи типа, суперпозиция функций (терм-формула) вида term(termlist) и вычислитель терм-формул (evaluator). Вычислитель сводит терм к некоторому значению (value), т.е. вычисляет значение терма. При этом на момент вычисления значения терма, вхождения предметных констант могут заменяться термами из списка constvalues. Замены (sub) предметных переменных определяются в процессе

логического вывода, а замены предметных констант осуществляются в контексте отдельного вычисления.

Структура машины представлена на рис. 3.

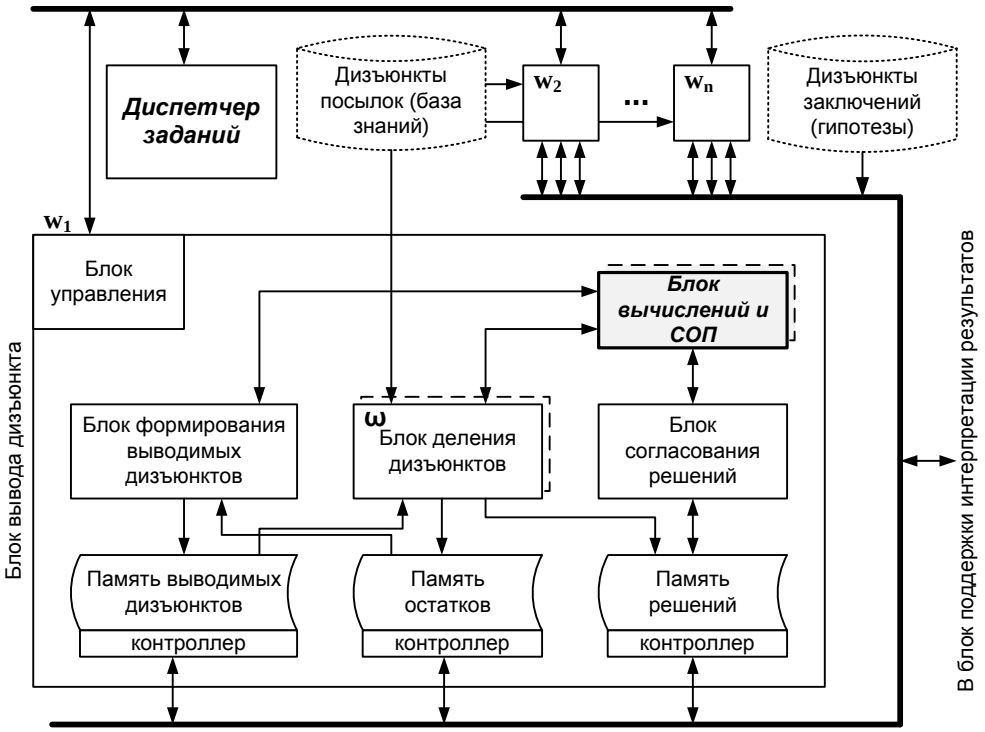


Рис. 3 – Структура машины логического вывода

В составе машины можно выделить несколько блоков вывода дизъюнкта, обозначенных $w_1 \ldots w_n$. На рис. 3 детально показана структура только одного (первого) блока.

Без учёта возможных тактик вывода и оптимизаций (см. подробнее [1]), вывод дизъюнкта заключения *d* осуществляется машиной следующим образом.

1. Диспетчер отдаёт команду вывода дизъюнкта доступному блоку w_k, загрузив *d* в его память выводимых дизъюнктов.
2. В блоке w_k каждый дизъюнкт базы знаний делится на *d* с помощью блока деления дизъюнктов. В результате может получиться как множество решений (выводимость *d* доказана), так и множество остатков от деления на *d*. Результаты загружаются в соответствующую память. Под решением подразумевается подстановка (lcu), определяющая результаты унификации литералов дизъюнктов в ходе деления. Решения формируются с помощью блока вычислений и СОП (согласованного объединения подстановок) при этом некоторые термы являются результатами вычислений, выполняющихся в рамках операции согласованного объединения подстановок. Множество всех полученных остатков (если оно не пусто) преобразуется блоком формирования выводимых дизъюнктов в новое множество выводимых дизъюнктов $\{d_1,\ldots,d_m\}$ и загружается в соответствующую память. Блок w_k сообщает о результатах диспетчеру.
3. Вывод завершается неудачей, если не было получено ни одного остатка или решения. Диспетчер освобождает ресурсы.
4. Если были получены решения, то вывод успешно завершается.
5. Если было получено множество новых выводимых дизъюнктов, то диспетчер ставит на параллельное выполнение аналогичные подзадачи вывода d_i, $1 \le i \le m$ на доступных блоках w. В случае успешного вывода каждого дизъюнкта d_i, соответствующие множества решений R_i возвращаются блоку w_k, который формирует множество решений *R* для дизъюнкта *d*, согласуя все R_i с помощью блока вычислений и СОП. *R* загружается в память решений и w_k сообщает о результатах диспетчеру.

6. Если *R* – пусто, то вывод *d* завершается неудачей, иначе вывод успешен и элементы *R* представляют интерес для пользователя. Диспетчер освобождает ресурсы.

В случае нехватки простаивающих блоков w, диспетчер ставит задачу в очередь задач, содержащуюся в блоке управления работающего w_j.

В процессе работы блока вывода дизъюнкта происходит многократное выполнение таких подзадач как деление дизъюнктов, вычисления и согласованное объединение подстановок на различных наборах исходных данных. Их выполнение может быть явным образом распараллелено. Поэтому на рис. 3 на месте соответствующих блоков могут быть введены пулы параллельно работающих устройств.

Блок вычислений и СОП представлен на рис. 4. Вычисление значений термов выполняется в процессе согласования замен предметных переменных (согласованного объединения подстановок) [3].

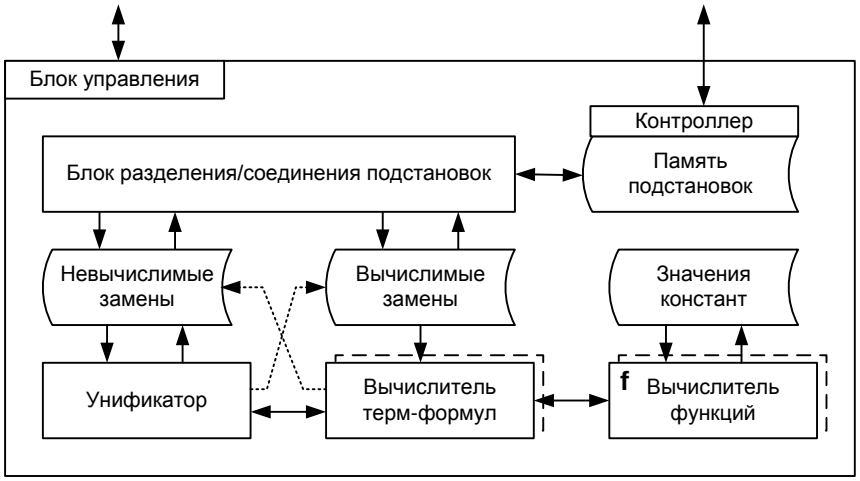


Рис. 4 – Блок вычислений и СОП

Согласуемые подстановки объединяются и разделяются на два множества вычислимых и невычислимых замен. Вычислимой называется замена переменной вычислителем терм-формулы: **eval**(*t*)/*x*. Блок унификатора выполняет согласование конфликтующих невычислимых замен, заменяя вхождения переменных в вычислимых заменах соответствующими термами. Как только в терм-функции *t* вычислимой замены **eval**(*t*)/*x* не останется вхождений предметных переменных, предпринимается попытка её вычисления. В случае, если вычисление прошло успешно и *v*=**eval**(*t*), вычислимая замена удаляется, к невычислимым заменам добавляется замена *v*/x и унификатор продолжает работу. Если вычисление завершилось с ошибкой, то вся операция согласования подстановок завершается неудачей.

В общем случае, при вычислении $t_0(t_1,\ldots,t_n)$, вычислитель терм-формул находит f=**eval**(t_0), затем обращается к вычислителю функций (**f**-блок на рис. 4) за результатом $v=f(t_1,\ldots,t_n)$. При этом **f**-блок может при необходимости обратится к вычислителю терм-формул за результатом **eval**(t_i), где $1\le i\le n$. Также имеется возможность в контексте вычисления терм-формулы отображать предметные константы на значения. Такое отображение может осуществляться особой функцией в составе **f**-блока. В этом случае вместо константы используется соответствующее ей значение.

Пример логического вывода с вычислениями. Пример логической программы на входном языке (рис.2) приведён на рис.5.

```
1: 1->G(1);
2: G(Y)->P(ife:(Y, if:, while:));
=>
3: 1->P(X) {
   eval do:(
      set:(c, 1),
      X(
         l:(c,3),
         set:(c, add:(c,1))
      )
   ) / Z
}
```

Рис. 5 – Логическая программа

Пусть базу знаний будут формировать правила 1 и 2, а выводимое заключение – правило 3, при этом пользователя интересует замена переменной Y. Имена функций, реализованных в вычислителе функций, заканчиваются в программе двоеточием. Функция «ife:», если истинен первый аргумент, вычисляет и возвращает значение второго аргумента, иначе третьего. Функция «if:», если истинен первый аргумент, вычисляет и возвращает значение второго аргумента, иначе – неопределённое значение. Функция «while:», пока результат вычисления первого аргумента истина, вычисляет значение второго аргумента, возвращая результат последнего вычисления. Функция «do:», вычисляет все свои аргументы последовательно и возвращает значение последнего. Функция «set:» в качестве первого аргумента принимает предметную константу, и отображает её на возвращаемый результат вычисления второго аргумента. Функция «l:» вернёт истину, если значение первого аргумента больше значения второго. Функция «add:» – результат сложения значений своих аргументов.

Не вдаваясь в детали логического вывода, рассмотрим выполняемые вычисления, опираясь на схему вывода (см. [2]) на рис. 6.

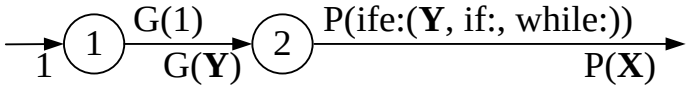


Рис. 6 – Схема логического вывода

В узлах схемы находятся номера правил, причём под входной стрелкой записана посылка соответствующего правила, а над выходной – заключение.

Вычисления выполняются в процессе согласования двух подстановок: {1/Y, ife:(Y, if:, while:)/X} и {eval do:(set:(c, 1), X(l:(c, 3), set:(c, add:(c, 1))))/Z}. Интересующая пользователя замена приобретёт вид: eval do:(set:(c, 1), ife:(1, if:, while:)(l:(c, 3), set:(c, add:(c, 1))))/Z. Предвычисляя, получим: eval do:(set:(c, 1), if:(l:(c, 3), set:(c, add:(c, 1))))/Z. Вычислимая замена сводится к невычислимой 2/Z.

Видно, что если изменить первое правило на 1->G(0), то в результате выполнения функции «while:» будет получена замена 4/Z.

Оценка машины. Поддерживаемый машиной декларативный язык позволяет задавать правила таким образом, что в ходе логического вывода будут конструироваться формулы, результаты вычисления которых, в свою очередь, будут влиять на процесс вывода. Эти возможности могут найти практическое применение, например, для поддержки проведения сложных алгебраических преобразований. Поддержка вычислений как таковая может пригодиться для анализа и прогнозирования ситуаций в различных сферах деятельности (при

этом часто возникает необходимость получать количественные оценки тех или иных характеристик ситуаций).

Реализуемый машиной метод вывода является двунаправленным и параллельным, что повышает эффективность работы машины на задачах, порождающих большие пространства поиска решения.

Машиной поддерживается параллельное решение различных подзадач: вывода дизъюнкта, деления базы знаний на дизъюнкт, согласования решений и вычислений.

В структуре машины можно выделить большое количество блоков, состоящих из нескольких однотипных элементов. Это увеличивает регулярность, что важно при аппаратной или программной реализациях.

Список литературы

1. *Вагин, В.Н*. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах [Текст] / В.Н. Вагин, Е.Ю. Головина, А.А. Загорянская, М.В. Фомина; под ред. В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. – М. : Физматлит, 2008.

2. *Страбыкин, Д.А*. Логический вывод в системах обработки знаний [Текст] / Д.А. Страбыкин; под ред. Д.В. Пузанкова. – СПб.: СПбГЭТУ 1998.

3. *Шихов, М.М.* Метод вычислений на подстановках для параллельного логического вывода на знаниях [Текст] // Научно-технический вестник Поволжья. – №3. – 2012. – С. 164-168.

05.23.11

А.Н. Шуваев д.т.н., С.П. Санников к.т.н., Д.В. Кубасов

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
кафедра автомобильных дорог и аэродромов,
Тюмень, ksead@tgasu.ru

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОЙ ГЕОРЕШЕТКИ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В БЕТОННОЙ ПЛИТЕ

В работе предложен расчет температурных напряжений мелкоблочного цементобетонного основания.

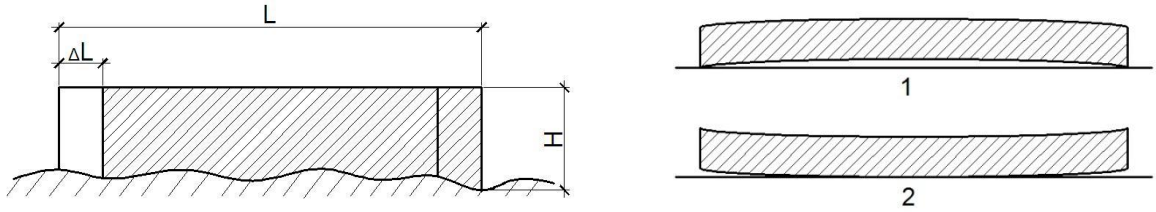
Ключевые слова: *мелкоблочное основание, температурные напряжения, объемная георешетка.*

Для увеличения срока службы автомобильных дорог необходимо применять прочные и долговечные материалы. В частности, для устройства дорожной одежды одной из наиболее надежных является конструкция с цементобетонным основанием и асфальтобетонным покрытием. Такая конструкция относится к дорожным одеждам жесткого типа [1]. Цементобетонное основание обеспечит большую прочность и надежную работу, особенно при повышенных нагрузках в неблагоприятных грунтово-геологических условиях. Асфальтобетонное покрытие, в свою очередь, обеспечит комфортные и безопасные условия движения. Несмотря на все преимущества такой конструкции все таки есть и минусы. Так, одним из недостатков, является процесс трещинообразования в асфальтобетонном покрытии в результате возникновения внутренних напряжений в основании, вызванных действием природно-климатических факторов и внешней нагрузки. Колебания температуры вызывают появление в цементобетонном основании дополнительных напряжений, несвойственных дорожным одеждам нежесткого типа.

Различают два вида температурных напряжений [4]:

1) напряжения, вызванные изменением длины плиты в результате нагрева или охлаждения (рис. 1а);

2) напряжения, вызванные короблением плиты в связи с неравномерным распределением температуры по толщине (рис. 2б).



а) б)

Рис. 1. Деформации бетонной плиты под воздействием температуры:
а) изменение длины плиты;
б) коробление плиты (1 – днем, 2 – ночью)

Для снижения величины температурных напряжений в цементобетонных основаниях можно уменьшить длину отдельной плиты. Одна из идей – это устройство мелкоблочного цементобетонного основания.

Создание отдельных блоков в основании возможно за счет применения объемной пластиковой решетки (рис. 2).

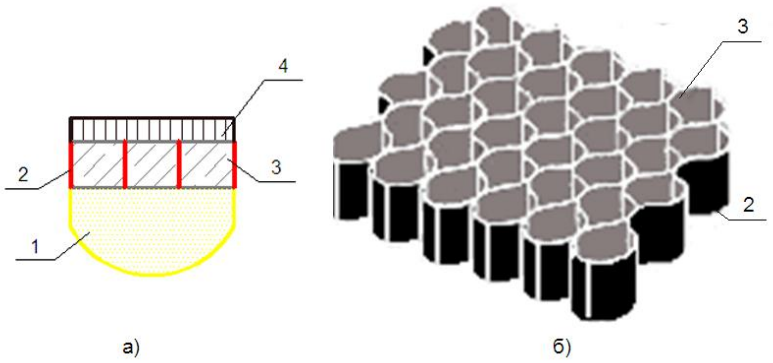


Рис. 2. Мелкоблочное цементобетонное основание на основе объемной георешетки
а) общий вид конструкции дорожной одежды;
б) мелкоблочное цементобетонное основание:
1 – дополнительный слой основания; 2–объемная решетка;
3– цементобетон; 4– асфальтобетон

Совместная работа решетки и бетона позволит изменить линейные перемещения конструкции, тем самым снизит температурные напряжения.

Толщину асфальтобетонного покрытия и бетонного основания определяют из условия прочности на растяжение при изгибе от воздействия внешних нагрузок и колебания температур, проверяя следующее условие [1]:

$$K_{\text{пр}} \le \frac{R_{pu}^{\text{расч}}}{\sigma_p + \sigma_t} \quad (1)$$

где:

$K_{пр}$ – коэффициент прочности, назначаемый в зависимости от категории дороги;

$R_{pu}^{расч}$ – расчетная прочность бетона на растяжение при изгибе, [МПа];

σ_p – напряжения растяжения при изгибе, возникающие в бетонном покрытии от действия нагрузки, [МПа];

σ_t – напряжения от перепада температур по толщине, [МПа].

В условии (1) возникает необходимость установить, как изменяются температурные напряжения ($\sigma_t^{итог}$) в основании при применении пластиковой георешетки.

Предположим, что напряжения ($\sigma_t^{итог}$, МПа) от перепада температур в бетонной плите с учетом фрагментации определяются:

$$\sigma_t^{\text{итог}} = \frac{E_{\text{бет}} \cdot \Delta T \cdot c_{\text{итог}}}{2}, \quad (2)$$

где:

$c_{итог}$ – итоговый коэффициент линейного расширения конструкции, [1/°С];

$E_{бет}$ – модуль упругости бетонной плиты, [МПа].

Итоговый коэффициент линейного расширения ($c_{итог}$, 1/°С) конструкции может быть определен:

$$c_{\text{итог}} = \frac{\Delta L_{\text{констр}}}{L_0^{\text{б}} \cdot \Delta T} \quad (3)$$

Рассматривая совместную работу стенок георешетки и бетона можно предположить, что суммарные деформации ($\Delta L_{констр}$, м), вызванные колебанием температур, составят:

$$\Delta L_{\text{констр}} = \Delta x_{\text{бет}} + \Delta x_{\text{реш}}, \quad (4)$$

где:

$\Delta x_{бет}$ – деформации цементобетонной плиты, [м];

$\Delta x_{реш}$ – деформации стенок георешеток, [м].

Деформации бетона определяются по формуле:

$$\Delta x_{\text{бет}} = L_0^{\text{б}} \cdot \Delta T \cdot c_{\text{б}}, \quad (5)$$

где:

$L^{б}_{0}$ – первоначальная длина бетонной плиты, [м];

ΔT – перепад температур по толщине цементобетонной плиты, [°C];

$c_{б}$ – коэффициент линейного расширения материала, [1/°C].

Деформации объемной пластиковой георешетки в бетонной плите:

$$\Delta x_{\text{реш}} = \frac{\sigma_t^{\text{вл.р}} \cdot L_0^p}{E_p}, \text{ м} \quad (6)$$

где:

L^{p}_{0} – суммарная толщина стенок георешетки, [м];

E_p – модуль упругости георешетки, [МПа];

$\sigma_t^{\text{вл.р.}}$ – напряжения, возникающие в пластиковой георешетки, с учетом температурных деформаций бетона, [МПа].

Напряжения ($\sigma_t^{\text{вл.р}}$, МПа) возможно определить по формуле:

$$\sigma_t^{\text{вл.р}} = \sigma_t^{б} - \sigma_t^{p}, \quad (7)$$

где:

σ_t^{p} – деформация пластиковой георешетки, [МПа];

$\sigma_t^{б}$ – деформация цементобетонной плиты, [МПа].

После преобразования формулы (4) устанавливаем, что суммарные деформации определяются:

$$\Delta L_{\text{констр}} = L_0^{б} \cdot \Delta T \cdot c_{б} - \frac{L_0^p \cdot \left(\sigma_t^p - \sigma_t^{б}\right)}{E_p}, \quad (8)$$

Подставив данное выражение в формулу (3), получим:

$$c_{\text{итог}} = \frac{L_0^{б} \cdot \Delta T \cdot c_{б} - \frac{L_0^p \cdot \left(\sigma_t^p - \sigma_t^{б}\right)}{E_p}}{L_0^{б} \cdot \Delta T}, \quad (9)$$

После преобразования формулы (2) суммарные температурные напряжения можно определить:

$$\sigma_t^{\text{итог}} = \frac{E_p \cdot L_0^{б} \cdot \Delta T \cdot c_{б} - L_0^p \cdot \left(\sigma_t^p - \sigma_t^{б}\right)}{E_p \cdot L_0^{б} \cdot \Delta T} \cdot \frac{E_{\text{бет}} \cdot \Delta T}{2}, \quad (10)$$

где:

Δt_b – приведенная среднесуточная амплитуда колебания температуры, [°C].

Первоначальная длина бетонной плиты с учетом фрагментации:

$$L_0^{б} = b \cdot (n-1), \quad (11)$$

где:

b – размер ячейки георешетки, [м];

n – количество ячеек в решетке, [шт.].

Суммарная толщина стенок георешетки:

$$L_0^p = t \cdot n, \text{ м} \quad (12)$$

где:

t – толщина стенки ячейки, [м].

После преобразования формулы (10) получаем, что итоговые температурные напряжения ($\sigma_{итог}$, МПа) в бетонной плите, фрагментированной решеткой, определяются:

$$\sigma_{\text{итог}} = \frac{2 \cdot E_p \cdot c_{б} \cdot b \cdot (n-1) \cdot \Delta T - t \cdot n \cdot \left(c_{б} \cdot E_{б} \cdot \Delta t_{б} - c_p \cdot E_p \cdot \Delta t_{б}\right)}{2 \cdot E_p \cdot L_0 \cdot \Delta T} \cdot \frac{E_{б} \cdot \Delta t_{б}}{2} \quad (13)$$

Из выражения (13) видно, что величина температурных напряжений зависит от параметров георешетки, в частности, от толщины стенки и размера ячеек. Это наглядно видно на рис. 3, где представлена зависимость температурных напряжений от параметров геоячейки для конструкции, состоящей из асфальтобетонного покрытия толщиной 12 см и бетонного основания толщиной 22 см.

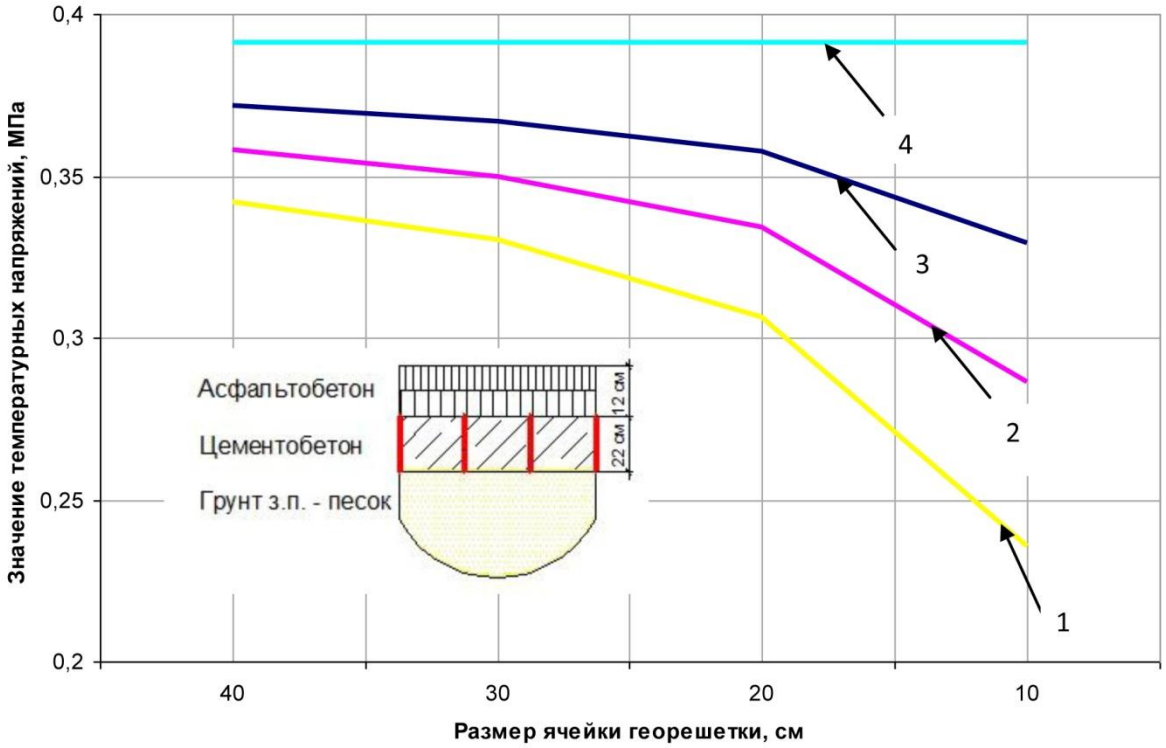


Рис. 3 Зависимость температурных напряжений в бетонной плите от параметров геоячейки, при толщине стенки (t, мм):
1 – 0,8 мм; 2 – 1,35 мм; 3 – 2,0 мм; 4 – без решетки

С увеличением толщины стенки и уменьшением размера ячейки снижаются температурные напряжения в бетонной плите, соответственно, снижается вероятность появления трещин в асфальтобетонном покрытии на цементобетонном основании.

При равнопрочной дорожной одежде фрагментация основания позволит снизить толщину конструктивных слоев.

Список литературы

1. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд (взамен ВСН 197-91) / Минтранс России, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор). – М.: ФРУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2004. – 135 с.
2. СНиП 2.05.02 -85* Автомобильные дороги. – М.: Стройиздат, 2004.
3. Технические рекомендации по применению укатываемого малоцементного бетона в конструкциях дорожных одежд ТР 138-03. – М.: «НИИМосстрой», 2004 – 52 с.
4. *Федотов Г.А.* Изыскания и проектирование автомобильных дорог: в 2 кн. Кн. 1: Учебник / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.;

05.17.08

П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов к.т.н., Г.М. Гончаров д.т.н.,
А.А. Ломов д.т.н., Ю.Б. Лаврентьев к.т.н.

Ярославский государственный технический университет,
машиностроительный факультет,
кафедра технологических машин и оборудования,
г. Ярославль, yuryginpp@gmail.com

ОБЗОР ВЯЗКОУПРУГИХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Представлен обзор основных вязкоупругих моделей течения полимерных материалов, применяемых в современной реологии, описаны их преимущества и недостатки применительно к области экструзии полимерных материалов.

Ключевые слова: *полимер, реологическая модель, вязкоупругая жидкость, экструзия.*

Проектирование оборудования для переработки полимеров, расчёт процесса их формования в длинномерные изделия основываются на моделировании течения перерабатываемого материала в рабочих органах машин. Моделирование деформационного процесса материала должно обязательно учитывать закономерности его механического поведения, являющимся проявлением его физико-химических свойств. Изучения таких закономерностей важны как для фундаментальной науки, так и для решения практических производственных задач.

Поведение материалов определяется зависимостью между напряжением, возникающим в процессе течения материала, и его деформацией, и находит свою математическую формулировку в реологическом уравнении состояния.

В настоящее время не создано единой теории, описывающей поведение полимеров в той или иной ситуации. Существуют лишь многочисленные реологические уравнения состояния, устанавливающие зависимость напряжения от деформации, и с разной степенью точности, отражающие те или иные свойства полимерных материалов. Все реологические уравнения состояния при этом можно разделить на два основных типа – скоростные и интегральные [1]. Уравнения первого типа содержат производные тензора напряжений и тензора скоростей деформации. В уравнениях же интегрального типа напряжение входит в интегральное выражение, отражающее предысторию деформации или напряжения.

На данный момент различные уравнения состояния полимерных материалов широко применяются для моделирования процессов во многих областях, например полимерном, шинном и кабельном производствах. Целью подобного моделирования является получение гидродинамических, энергетических и деформационных зависимостей, на основе которых возможна корректировка свойств материалов, параметров процесса или проектирование нового оборудования для получения качественного изделия.

Стоит отметить тот факт, что в процессе компьютерного моделирования иногда встречаются затруднения, связанные с определением свойств материалов в соответствии с выбранной реологической моделью и вычислительными возможностями ресурса компьютерной техники. Поэтому с целью облегчения анализа довольно сложных процессов, например совместного выдавливания двух и более материалов через общую формующую головку (соэкструзия), часто применяются степенные законы (Оствальда-де Виля [2] и др.). Но они не способны предсказывать релаксационные эффекты, которые характерны для большинства расплавов и растворов полимеров. Следовательно, подобные модели не могут в полной мере использоваться для описания процессов размерообразования изделий, например, для постэкструзионного разбухания, которое оказывает большое влияние на итоговое качество продукции.

Таким образом, целью настоящей работы является обзор существующих реологических моделей вязкоупругих жидкостей, т.е. тех, которые в процессе течения проявляют свойства аномалии вязкости и релаксационные свойства.

Для описания реологического поведения материалов в одномерных задачах служат следующие простейшие реологические модели: упругий элемент в виде пружины, который отображает упругие свойства; жидкостный элемент (демпфер), характеризующий вязкие свойства материала. Эти элементы обычно рассматриваются как составные части более сложных механических моделей, отображающих реологическое поведение материала. Для того чтобы построить такие модели, эти элементы соединяют параллельно или последовательно. Так, при параллельном соединении упругого и вязкого тел получается модель Фойгта, представляющая собой вязкоупругое твердое тело, а последовательное соединение этих элементов дает модель Максвелла.

Так, реологическое уравнение, соответствующее модели Максвелла, можно записать в виде:

$$\lambda\dot{\tau} + \tau = \mu\dot{\gamma}, \tag{2}$$

где τ – напряжение, $\dot{\tau}$ – тензор напряжения, μ – вязкость материала, λ – постоянная времени релаксации, $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига.

Решение уравнения (2) данной модели по отношению к напряжению приводит к следующей зависимости:

$$\tau(t) = \int_{-\infty}^{t} \frac{\mu}{\lambda} \exp\left(\frac{t-t'}{\lambda}\right) \dot{\gamma}(t')dt', \tag{3}$$

где составляющие уравнения со знаком ($'$) имеют отношение к предыдущему моменту времени рассматриваемого процесса.

В общем виде выражение (3) можно представить как:

$$\tau(t) = \int_{-\infty}^{t} G(t-t')\dot{\gamma}(t')dt', \tag{4}$$

где $G(t)$ – модуль релаксации.

Напряжения, описываемые формулой (4), рассматриваются как произведение двух функций: $G(t-t')$, которая зависит от материальных функций жидкости, и $\dot{\gamma}(t')$, являющейся характеристикой течения.

Простым обобщением модели является запись этого уравнения в виде

$$\tau + \lambda\tau = 2\mu D, \tag{5}$$

где D – тензор скоростей деформации.

Уравнение (5) называют обычно классической механической моделью Максвелла. С её помощью можно качественно описать как вязкое, так и упругое поведения текучей смеси, что хорошо характеризует многие проявления вязкоупругости (релаксация напряжения, эластическое восстановление). Она уточнено предсказывает сдвиговое течение в пределах индекса течения n от 0,2 до 0,8 для большинства полимеров и резиновых смесей [3, 4]. Всё это объясняет её частое использование при математическом моделировании процессов экструзии.

Однако реологическое уравнение Максвелла имеет ряд недостатков, связанных с ограниченностью области применения бесконечно малыми деформациями, а также не удовлетворением принципу материальной объективности. Последнее означает, что реологическое конститутивное соотношение должно быть инвариантно выбору системы отсчета.

Поскольку обобщение приведенной формы уравнения Максвелла должно удовлетворять принципу объективности, то это приводит к верхней и нижней конвективным моделям Максвелла, называемых также моделями Максвелла-Б и Максвелла-А соответственно:

$$\tau + \lambda_{\tau}^{\nabla} = 2\mu D, \tag{6}$$

$$\tau + \lambda_{\tau}^{\Delta} = 2\mu D, \tag{7}$$

где символы ∇ и Δ стоят соответственно над верхней и нижней конвективными производными.

Обе эти модели показывают постоянную сдвиговую вязкость μ, а также разность первых нормальных напряжений $N_1 = 2\lambda\mu\dot{\gamma}^2$, которая в первой модели равна 0, а во второй $N_2 = -N_1$. Обычно в различных исследованиях течения вязкоупругих жидкостей рассматривается модель Максвелла-Б, т.к. зависимость $N_2 = -N_1$, характерная для другой модели, противоречит экспериментальным данным.

При рассмотрении продольного течения с использованием модели Максвелла-Б предполагается зависимость между продольной и сдвиговой вязкостями следующего вида:

$$\mu_E(\dot{\varepsilon}) = \frac{2\mu}{1-2\lambda\dot{\varepsilon}} + \frac{\mu}{1+\lambda\dot{\varepsilon}}, \quad (8)$$

Из выражения (8) видно, что при достижении $\dot{\varepsilon} = 0{,}5\lambda$ величина продольной вязкости будет стремиться к бесконечности. Поэтому данная модель применима только для течений, где $\dot{\varepsilon} \ll 0{,}5\lambda$.

При осуществлении моделирования разбавленных растворов полимеров в низкомолекулярном растворителе логично разделить напряжение на компоненты, соответствующие вязким напряжениям в растворителе (τ_s) и вязкоупругим (τ_p). В этом случае вязкость будет складываться из вязкости растворителя и вязкости растворенного полимера $\mu = \mu_s + \mu_p$, а компоненты напряжения примут вид:

$$\tau_s + \lambda_s \overset{\nabla}{\tau_s} = 2\mu_s D, \quad (9)$$

$$\tau_p + \lambda_p \overset{\nabla}{\tau_p} = 2\mu_p D, \quad (10)$$

Складывая (9) и (10) с учетом того, что $\tau = \tau_s + \tau_p$, получим общее уравнение модели Олдройда для описания линейных вязкоупругих свойств:

$$\tau + \lambda_p \frac{\delta\tau}{\delta t} = \mu(\dot{\gamma} + \lambda_s \frac{\delta\dot{\gamma}}{\delta t}), \quad (11)$$

Модель Олдройда дает весьма успешные результаты [5] применительно к моделированию экструзионных течений вязкоупругих жидкостей в сильно расширяющихся или сходящихся каналах, имеющих большие градиенты скорости сдвига и напряжения в пристеночной зоне и значительную силу вязкого вихря в местах контакта с локальными сопротивлениями течению. Данная модель хорошо описывает поведение вязкоупругих жидкостей, имеющих высокий уровень эластичности и большое время релаксации (λ_p=0,15÷25 с), но непродолжительное время ретардации (λ_s=9 с).

Также по аналогии с моделью Максвелла существует уравнение состояния жидкости Олдройда-Б, которое может быть записано как:

$$\tau + \lambda_p \overset{\nabla}{\tau} = 2\mu(D + \lambda_s \overset{\nabla}{D})), \quad (12)$$

Эта конститутивная зависимость прогнозирует постоянную сдвиговую вязкость течения, $N_1(\dot{\gamma}) = 2\mu_V\lambda\dot{\gamma}^2$, $N_2 = 0$. Продольная же вязкость имеет те же недостатки что и в модели Максвелла-Б:

$$\mu_E(\dot{\varepsilon}) = \frac{2\mu_p}{1-2\lambda\dot{\varepsilon}} + \frac{\mu_p}{1+\lambda\dot{\varepsilon}} + 3\mu_s, \quad (13)$$

Следует отметить, что хотя и существуют довольно сложные вязкоупругие модели жидкостей, которые будут рассмотрены ниже, и способные предсказывать различные тонкости проявления вязкоупругих свойств, иногда их практическое применение может быть затруднено ввиду затруднений с экспериментальным определением большого количества констант, характеризующих конкретную модель.

Далее представлено несколько относительно простых вязкоупругих моделей, использовавшихся в различное время для описания поведения течения полимеров:

Модель Эйринга (1960) [6]:

$$\mu = \mu_0 ((\sin h^{-1}\lambda\dot{\gamma})/\lambda\dot{\gamma}), \quad (14)$$

где h – реологическая постоянная модели, μ_0 – вязкость неньютоновской жидкости при нулевой скорости сдвига.

Модель Саттерби (1965) [6]:

$$\mu = \mu_0 (\sin h^{-1}\lambda\dot{\gamma})/\lambda\dot{\gamma})^{\alpha}, \quad (15)$$

Одной из довольно популярных моделей интегрального типа, хорошо описывающей многие реологические эффекты, является модель Кея-Бернштейна-Керсли-Запаса (К-БКЗ) (1963) [7, 8]:

$$\sigma_{ij} = 2\int_{-\infty}^{t}\left(\frac{\partial \widetilde{W}}{\partial I_1}C_{ij}^{-1}(t,t') - \frac{\partial \widetilde{W}}{\partial I_2}C_{ij}(t,t')\right)dt', \quad (16)$$

где σ_{ij} – тензор напряжений; $\widetilde{W}(I_1, II_2)$ – функция инвариантов I_1 и II_2 тензоров скоростей деформации C_{ij} и C_{ij}^{-1}. Здесь $\widetilde{W}(I_1, II_2) = m(t-t')W(I_1, I_2)$, $m(t-t')$ – функция памяти, $W(I_1, II_2)$ – упругий потенциал.

Структура данного уравнения предполагает, что релаксационный спектр, представленный через функцию памяти, определяется в области линейной вязкоупругости, и деформация на него не влияет. Появление же нелинейных эффектов целиком обусловлено большими деформациями.

Модель К-БКЗ нашла успешное применение во многих исследованиях, например при моделировании стратифицированного бикомпонентного течения полимеров в щелевых головках [9] и др.

Описанная модель предлагает весьма общую формулировку реологического уравнения состояния жидкости, но подразумевает возможность создания множества частных вариантов.

Так, одним из упрощенных вариантов модели К-БКЗ является модель Вагнера (модель Вагнера II) (1976) [10]:

$$\sigma_{ij} = \int_{-\infty}^{t} m(t-t')h(I_1, I_2)((1-\beta)C_{ij}(t,t') - \beta C_{ij}^{-1}(t,t'))\,dt', \quad (17)$$

где $h(I_1, I_2)$ – функция затухания, характеризующая высокоэластические свойства полимеров, β – дополнительная константа.

Модель Криминейла-Эриксена-Филби (КЭФ), применяемая для описания установившихся сдвиговых течений [11], но не способная описать времязависимое вязкоупругое поведение, имеет следующую запись:

$$\tau = -\eta\dot{\gamma} - (0{,}5\psi_1 + \psi_2)\{\dot{\gamma}\cdot\dot{\gamma}\} + 0{,}5\psi_1\frac{\partial\dot{\gamma}}{\partial t}, \quad (18)$$

где η, Ψ_1, Ψ_2 – реологические функции.

Модель Уайта-Метцнера (1977) [12] выражается следующим реологическим уравнением:

$$\dot{\tau} + \lambda_p\frac{D_0\dot{\tau}}{D_0 t} = 2\mu_0\frac{\delta\gamma}{\delta t}, \quad (19)$$

где $\frac{D_0\dot{\tau}}{D_0 t}$ – конвективная производная тензора напряжения; ε и h – реологические постоянные моделей.

Модель Джеффри (1968) [13] также является одной из часто используемых и имеет следующую запись:

$$\tau + \lambda_p\dot{\tau} = -\mu_0(\dot{\gamma} + \lambda_s\dot{\gamma}), \quad (20)$$

Если $\lambda_s = 0$, то модель Джеффри переходит в модель Максвелла.

Для случая установившегося течения при простом сдвиге могут быть использованы модели Бёрда-Вильямса, Де Витта, Богью, являющиеся частными случаями упомянутых выше моделей Олдройда и Джеффри. В отличие от них уравнения моделей Бёрда-Карро, Лоджа и Спригса, Маршала-Кроше содержат больше установочных параметров, которые удовлетворительно характеризуют нелинейные вязкоупругие свойства жидкостей с памятью.

Модель Джонсона-Сигельмана [14] включает в себя верхнюю и нижнюю конвективные производные следующим образом:

$\tau + \lambda_\tau^{\circ} = 2\mu_0 D,$ (21)

где $^{\circ}_{\tau} = (1-0.5\xi)\,^{\nabla}_{\tau} + 0.5\xi\,^{\nabla}_{\tau}$; ξ – скалярный параметр ($\xi[0;2]$).

Эта модель предсказывает $\mu(\dot{\gamma}) = \frac{\mu_0}{1+\xi(2-\xi)\lambda^2\dot{\gamma}^2}$, $\psi_1(\dot{\gamma}) = \frac{2\lambda\mu_0}{1+\xi(2-\xi)\lambda^2\dot{\gamma}^2}$,

$\psi_2(\dot{\gamma}) = -\frac{\xi\lambda\mu_0}{1+\xi(2-\xi)\lambda^2\dot{\gamma}^2}$, $\frac{N_2}{N_1} = -0.5\xi$, а вязкость $\eta_E(\dot{\varepsilon})$ определяется, как и в модели Максвелла-Б. Здесь видно, что сдвиговая вязкость меняется от величины μ_0 при нулевой скорости сдвига до 0 при $\dot{\gamma}\to\infty$.

Модель Джонсона-Сигельмана имеет в целом те же недостатки, что и уравнение Максвелла-Б (стремление продольной вязкости к бесконечности при $\dot{\varepsilon} = 0.5\lambda$), что было исключено введением дополнительного мультипликативного коэффициента (ε_{PPT}) в модели Фан-Тьен-Таннера (1978) [15, 16, 17]:

$$\exp\left(\frac{\varepsilon_{PPT}}{\mu}\right)\tau + \lambda \overset{\circ}{\tau} = 2\mu_0 D, \tag{22}$$

Отметим, что модель Фан-Тьен-Таннера является представителем сеточных моделей [18], основанных на предположении о возможном объединении полимерных цепочек в сетку. Связи, образующие сетку разрываются, при этом сразу же создают новые связи. Поэтому вводятся функции распределения, связанные с вероятностью разрыва связей и вероятностью создания новых.

Модель Гьескуса (Giesekus) **(**1982) [19]:

$$\tau + \lambda_\tau^{\nabla} + (\alpha_\tau \lambda/\mu_p)\tau \cdot \tau = 2\mu_p D, \tag{23}$$

где α_τ – константа модели. Эта модель хорошо применима к сдвиговым течениям, но является не лучшим вариантом для продольных течений в сложных геометриях.

В последнее время широкое распространение получила впервые предложенная МакЛейшом и Ларсоном (1998) “Пом-Пом” модель [20]. Она позволяет прогнозировать корректное нелинейное поведение, как при растяжении, так и при сдвиге. Однако вскоре оригинальная формулировка была модифицирована с целью устранения ряда таких недостатков, как неограниченность уравнения ориентации для высоких скоростей сдвига и отсутствие в модели второй разности нормальных напряжений при сдвиге. Новая модель получила название расширенной “Пом-Пом” модели (XPP).

“Пом-Пом” модель основана на теории трубки и упрощенной топологии разветвленных молекул и включает в себя уравнения для ориентации и растяжения. Оригинальная дифференциальная форма “Пом-Пом” модели формулируется следующим образом:

$$\overset{\nabla}{A} + \frac{1}{\lambda_b}\left(A - \frac{1}{3}I\right) = 0, S = \frac{A}{I_A}, \tag{24}$$

$$\dot{\Lambda} = \Lambda[D:S] - \frac{e^{\nu(\Lambda-1)}}{\lambda_s}(\Lambda - 1), \text{ для } \Lambda \le \mathrm{q}, \tag{25}$$

$$\tau = \sigma - G_0 I = G_0(3\Lambda^2 S - I), \tag{26}$$

Уравнения (21) и (22) выражают эволюцию тензора ориентации *S* и растяжения трубки Λ соответственно, G_0 – модуль упругости полимерной жидкости, *A* – вспомогательный тензор, λ_b и λ_s – времена релаксации для ориентации и растяжения, соответственно, I_A – первый инвариант тензора *A,* параметр $\nu = 2/\mathrm{q}$, где q – число боковых ответвлений полимерной цепочки.

Верхняя конвективная производная вспомогательного тензора $\overset{\nabla}{A}$, определяется как:

$$\overset{\nabla}{A} = \dot{A} - L \cdot A - A \cdot L^T = \frac{\partial A}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} A - L \cdot A - A \cdot L^T, \tag{27}$$

где кинематика потока определяется скоростью $\vec{u}$, *L* – градиент скорости, *D* – скорость деформации.

В 2001 году Вербитен и др. [21] модифицировали “Пом-Пом” модель, совместив ряд уравнений в одну зависимость и дополнив модель второй разностью нормальных напряжений, которая отсутствовала в оригинальной формулировке. Расширенная «Пом-Пом» модель (XPP) определяется следующим образом:

$$\overset{\nabla}{\tau} + \{\frac{1}{\lambda_b}\left(\frac{\alpha}{G}\tau \cdot \tau + F\tau + G(F-1)I\right\} - 2GD = 0, \tag{28}$$

$$F = 2re^{\nu(\Lambda-1)}\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right) + \frac{1}{\lambda^2}\left(1 - \frac{\alpha \cdot tr(\tau \cdot \tau)}{3G^2}\right), \tag{29}$$

$$\Lambda = \sqrt{1 + \frac{tr(\tau)}{3G}}, \tag{30}$$

где *F* – дополнительная скалярная функция, а соотношение обоих времен релаксации определяется как $r = \lambda_b/\lambda_s$. Вторая разность нормальных напряжений (N_2) контролируется дополнительным анизотропным параметром α ($\mathrm{N}_2 \neq 0$ при $\alpha \neq 0$).

Данная реологическая модель применялась при численном прогнозировании вязкоупругих течений, используя схемы конечных объемов высокого порядка [22], для анализа стабильности вязкоупругих течений [23] и в других работах.

Модель FENE-P [24, 25]. Реологическое уравнение модели имеет вид:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2, \tau_2 = 2\eta_2 D, \tag{31}$$

$$\tau_1 = \frac{\eta_1}{\lambda}\left(\frac{A}{1-\frac{trA}{3L^2}} - \frac{I}{1-\frac{1}{L^2}}\right), \tag{32}$$

$$\frac{A}{1-\frac{trA}{3L^2}} + \lambda\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{I}{1-\frac{1}{L^2}}, \tag{33}$$

где $\frac{\partial A}{\partial t}$ – верхняя конвективная производная от тензора конфигурации A, η_1 – вязкость полимера, η_2 – вязкость растворителя, λ – время релаксации напряжений, trA – след тензора A, L – безразмерный параметр модели FENE-P жидкости, характеризующий степень растяжения данной макромолекулы.

Верхняя конвективная производная от тензора конфигурации A определяется как

$$\frac{\delta A}{\delta t} = \frac{\partial A}{\partial t} + v \cdot \nabla A - \nabla v \cdot A - A(\nabla v)^T, \tag{34}$$

а тензор скоростей деформации определяется соотношением $D = \frac{1}{2}(\nabla v + \nabla v^T)$.

Далее рассмотрим реологическую модель Леонова (1970), принадлежащую к классу дифференциальных теорий, основанных на общих представлениях неравновесной термодинамики как базиса для дальнейшей аргументации [26]. Она может быть использована для различных прикладных расчетов, например для моделирования технологических процессов переработки полимеров. Принимается, что упругие деформации при течении вязкоупругой жидкости отвечают ее внутреннему равновесному термодинамическому состоянию. Любое отклонение от этого состояния приводит к отклонению от равновесного состояния. Основное уравнение выглядит следующим образом:

$$\sigma = 2\mu_0 sD + 2\sum_{k=1}^{N}(W_{k.1}C_k + C_k^{-1}W_{k.2}), \tag{35}$$

где s – некоторый реологический параметр (s[0,1]), $W_{k.j}$ – упругий потенциал, C_k – тензор упругих деформаций.

Преимущество этой модели заключается в том, что для определения параметров модели необходимо проведение экспериментов только в линейной области вязкоупругого поведения, а получаемые при этом характеристики материала используются для описания его нелинейных вязкоупругих свойств.

Таким образом, в данной работе был произведен обзор часто использующихся в современной реологии конститутивных уравнений состояния вязкоупругих жидкостей, основной задачей которых является установление взаимосвязи между напряжениями и деформациями.

На сегодняшний момент существует довольно большое количество реологических моделей, каждая из которых может найти свое применение на практике, например, при численном моделировании, в зависимости от условий процесса, поставленной цели и имеющихся вычислительных ресурсов компьютерной техники. В ходе работы были описаны как самые простые модели, так и самые сложные и современные, которые нашли уже применение во множестве новейших исследований в области течения полимерных жидкостей.

Список литературы

1. *Хан Ч.Д.* Реология в процессах переработки полимеров. – М.: Химия, 1979. – 366 с.
2. *Гуданов И.С.* Метод расчета соэкструзии резиновых смесей и мультиплексных формующих головок: Дис. … канд. техн. наук. – Ярославль, 2009. – 185 с.
3. *Tanner R.I.* Engineering rheology. – Oxford: Oxford University Press, 2000. – 592 p.
4. *Bush M.B. and al.* A boundary element investigation of extrudate swell // J. Non-Newtonian Fluid Mech. – 1985. – Vol. 18, № 2. – P. 143-162.
5. *Kostic M.* Heat transfer and hydrodynamics of water and viscoelastic fluid flow in a rectangular duct: PhD. Thesis. – University of Illinois, Chicago, 1984. – 247 p.
6. *Siginer D.A. and al.* Advances in the flow and rheology of non-Newtonian fluids: In 10 t. – Elsevier, 1999. – T. 8. – 1515 p.
7. *Малкин А.Я., Исаев А.И.* Реология: концепции, методы, приложения // Пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2007. – 560 стр., ил.
8. *Малкин А.Я.,* Современное состояние реологии полимеров: достижения и проблемы, Высокомол. соедин., 2009, Т. 51, С.106-136.
9. *Wagner M.H.*: Rheol. Acta 15, p.136-142, 1976.
10. *Barakos G., Mitsoulis E.* Viscoelastic simulations of stratified bicomponent extrusion through slit dies. Intern. Polymer Processing XI, 1996. – p. 147-153.
11. *Тадмор З., Гогос К.* Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
12. *Lee J.S., Jung H.W., Kim S.H., Hyun J.C.* Effect of fluid viscoelasticity on the draw resonance dynamics of melt spinning, J.Non-Newtoonian Fluid Mech. 99, 2001. – 159-166.
13. *Gupta R.K.* Polymer and composite rheology. – CRC Press, 2000. – 390 p.
14. *Амер Махмуд Аль-Рваш.* Математическое моделирование течения вязкоупругой жидкости в канале вискозиметра с падающим грузом. Дис. … канд. техн. наук. – Москва, 2007. – 122 с.
15. *White J.L.* Principles of polymer engineering rheology. – Wiley-IEEE, 1990. – 326 p.
16. *Siginer D.A. and al.* Advances in the flow and rheology of non-Newtonian fluids: In 10 t. – Elsevier, 1999. – T. 8. – 1515 p.
17. *Tanner R.I.* Engineering rheology. – Oxford: Oxford University Press, 2000. – 592 p.
18. *Larson R.G.* Structure and Rheology of Complex Fluids. New York: Oxford Press. 1999. 387p.
19. *Giesekus H.* A unified approach to a variety of constitutive models for polymer fluids based on the concept of configuration dependent molecular mobility // Rheol. Acta. 1982. Vol. 21. P. 366 – 375.
20. *McLeish T.C.B., Larson R.G.* Molecular constitutive equations for a class of branched polymers: the pom-pom polymer // J. Rheol. 1998. Vol.42. P. 81 – 110.
21. *Verbeeten W.M.H., Peters G.W.M.* Differential constitutive equations for polymer melt: the eXtended Pom-Pom model // J. Rheol. 2001. Vol.45. P. 821 – 841.
22. *Aguayo J.P., Phillips P.M., Phillips T.N., Snigerev B.A., Tamaddon-Jahromi H.R., Webster M.F.*. The Numerical prediction of viscoelastic flows using the Pom-Pom model and high order finite volume schemes, in " Proc. XIV Int. Congr. of Rheology", Seoul, Korea, Aug.22-27, 2004.
23. *Bogaerds A.C.B.* Stability analysis of viscoelastic flows: Ph.D Thesis. - Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2002. – 132 p.
24. *Снигерев, Б.А.* О форме выходящей струи при выдавливании вязкоупругой жидкости из плоского щелевого канала / Б.А. Снигерев, Ф.Х. Тазюков // Вестник Самарского гос. ун-та. — 2009. — Т. 6(72). — С. 130–138.
25. *Deville M.O., Gatski T.B.* Mathematical modeling for complex fluids and flows. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. – 285 p.
26. *Leonov A.I.* Nonequlibrium thermodynamics and rheology of viscoelastic polymer melts // Rheol. Acta. 1976. Vol.15. P. 85 - 98.

05.21.01

В.И. Юсенхан

Ухтинский государственный технический университет,
Институт Леса, кафедра лесных, деревообрабатывающих машин и материаловедения,
Ухта, zav_ldm@ugtu.net

ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГИДРОСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАШИН

Обоснована оценка работоспособности распределителей на надежность и функционирование гидросистемы управления лесных машин - определения величины утечки через сопряжение в собранном состоянии при нейтральном положение плунжера золотника (запертое состояние распределителя), по величине которой расчетным методом можно определить фактический (средний по сопряжению) зазор S этого сопряжения. Разработан новый способ диагностирования по критерию турбулентного режима течения жидкости по длине прохода "l" сопряжения.

Ключевые слова: *гидросистемы, надежность, зазор сопряжения, гидрожидкость.*

Распределительные устройства гидросистем управления обеспечивают функционирование технологического оборудования лесных машин и от их надежности при частом включении до 10 тыс. за смену зависит его эффективность. Все виды отказов распределителей составляют до 30% от общего числа отказов гидросистем.

По диапазону лесных машин различного технологического назначения количество гидрораспределителей составляет: блочных – 1÷6, моноблочных – 1÷2, общее количество золотников – 2÷16 (в среднем по ЛП и ВТМ 12 штук).

Коэффициент функциональной значимости $К_{фр}$, учитывающий количество рабочих гидросвязей с другими гидроэлементами в системе, для гидрораспределителей составляет $К_{фр} = 0,275$, а их коэффициент отказов $К_{ор}$ по всем видам отказов по гидросистеме составляет $К_{ор} = 0,118 – 0,22$ (среднее 0,169). Это определяет качественный уровень показателя функциональной надежности гидрораспределителей в виде $А_{фр} = К_{фр}\cdot(1 + К_{ор})$ на уровне 0,3215, что является наибольшим по гидросистеме, т.е. характеризует их низкую надежность по комплексу оценки.

Экономичная "тяжесть" последствий отказов, стоимости агрегата и работ по его замене оценивается показателем критичности отказов гидрораспределителей $А_р$, который также наибольший по гидросистеме и составляет более 32%.

Комплекс оценки работоспособности распределителей на надежность и функционирование гидросистемы управления показывает высокий уровень их влияния на эффективность работы оборудования машин. Необходимость диагностирования гидрораспределителей по определению их технического состояния является важнейшим и необходимым средством повышения надежности гидросистем управления.

В результате эксплуатации гидрораспределителей имеет место износ прецезионного сопряжения (плунжер золотника – гильза), зазор которого является основным конструктивно-эксплуатационным параметром, определяющим эффективность его применения по назначению. Степень износа сопряжения (величина зазора) определяет в основном приближение к предельному состоянию гидрораспрделеителя и необходимость его замены.

Нарушение требований технической чистоты гидрожидкости (наличие абразивных частиц), гидрозащемление плунжеров, большое число включений и другие факторы резко снижает ресурс гидрораспределителей, вызывая интенсивные увеличения зазора сопряжений

и утечки гидрожидкости в запертом положении гидрораспределителя. По стандарту СТП-1.77-77 Ковровского экскаваторного завода для распределителей У4960(4221А.24.000) допустимый предел утечки масла в нейтральном (запертом) положении золотника при давлении p = 25 МПа и кинематической вязкости гидрожидкости ϑ = 30 сСт должен составлять Q=450 см^3/мин, при повышении которого агрегат должен быть заменен.

Этот уровень утечки гидрожидкости через зазоры характеризует выработку ресурса и недопустимость дальнейшего использования, т. к. зазор сопряжения превышает допустимый S_{max} > 20 мк (начальный зазор составляет 14 мк). Фактически определить зазор сопряжения S в собранном сопряжении невозможно (ошибка измерения диаметров плунжера и гильзы при разборке превышает фактический зазор), поэтому способ диагностирования должен предусматривать определение зазора сопряжения при сборном состоянии сопряжения. Это относится к экспериментально-расчетному методу определения фактического зазора.

Диагностическим параметром метода является определения величины утечки через сопряжение в собранном состоянии при нейтральном положение плунжера золотника (запертое состояние распределителя), по величине которой расчетным методом можно определить фактический (средний по сопряжению) зазор S этого сопряжения.

Однако является ли величина утечки ΔQ определяющим диагностическим (контрольным) параметром, характеризующим техническое состояние распределителя. Оказывается – нет. Величина "Q" в значительной степени зависит не только от задора S в сопряжении, а в основном от величины кинематического эксцентриситета "Δ" относительного положения центров осей плунжера и гильзы, определяющего величину распределения зазора сопряжения по сечению диаметра сопряжения (что не замерить при разборке сопряжения).

Следовательно, режим диагностирования распределителя необходимо осуществлять только в собранном состоянии сопряжения.

Теоретические исследования [1, 3] течения жидкости через прецезионные (малые) зазоры сопряжения выявляют значительный разброс величины утечки $\Delta Q = f(\Delta)$, зависящий от эксцентриситета "Δ" положения осей элементов сопряжения.

При ламинарном режиме движения жидкости через зазор, реализуемых в известных стендах типа КИ-4815, Ки-4200ПС, КИ-4896 величина утечки ΔQ определяется по формуле [2]:

$$Q_{ym}^{л} = \frac{П \cdot d_1 \cdot s^3 \cdot \Delta p}{12\vartheta \cdot \rho \cdot l} \cdot \varphi,$$

где d_1 - диаметр плунжера золотника;

s - зазор в сопряжении;

Δp - перепад давления относительно плунжера;

l - герметизирующая длина плунжера;

ϑ - кинематическая вязкость жидкости;

ρ - плотность гидрожидкости;

φ - коэффициент эксцентричности положения золотника в гильзе;

Δ - величина эксцентриситета положения плунжера, где

$$\varphi = \left[1 + 1{,}5\left(\frac{\Delta}{s}\right)^2\right] = 1 \div 2{,}5 \ (при \ \Delta = s)$$

Наличие коэффициента эксцентричности положения плунжера в гильзе φ характеризует его стохастическое положение, а следовательно дает разброс величины утечки ΔQ до 2,5 раза.

Согласно существующим нормам достоверности и точности процессов диагностирования гидроагрегатов максимальная допустимая погрешность δ (%) согласно [3] составляет:

$$\delta(\eta_{\max}) = (1 - P(t)) \cdot (1 - \eta_{пр}) \cdot 100\%,$$

где $P(t)$ - вероятность безотказной работы диагностируемого гидроагрегата $[P(t) = 0{,}85]$;

$\eta_{пр}$ - предельно допустимое значение объемного к.п.д., т.е. $\eta_{пр} = \frac{Q_{вых}}{Q_{вх}}$ для гидрораспределителей составляет $\eta_{пр.р} = 0{,}88$

Допустимая погрешность $\delta(\eta_{\max})$ для распределителей составляет 1,8%, поэтому недопустим разброс в 2,5 раза величины утечки ΔQ при ламинарном режиме течения гидрожидкости через зазор сопряжений при проведении диагностирования.

Частичным решением проблемы повышения точности и достоверности диагностирования золотниковых распределителей является теоретическая рекомендация, согласно которой при организации турбулентного режима течения жидкости через капиллярный зазор плунжер-гильза значительно уменьшается влияние эксцентриситета "Δ" на величину утечки $Q_{ут}^{T}$ по формуле

$$Q_{ут}^{T} = \frac{П \cdot d_1 \cdot s^3 \cdot \Delta p}{12\partial \cdot \rho \cdot l} \cdot \left[1 + 0{,}2\left(\frac{\Delta}{s}\right)^2\right], \text{ т.е.}$$

Изменение значения φ находится в пределах $\varphi = 1 \div 1{,}2$ $(при\ \Delta = s)$, т.е. при касании образующей плунжера образующей гильзы.

Разброс значений ΔQ^{T} составляет только 20 %, а не 150 %, как при ламинарном режиме течения жидкости.

Это позволяет обосновать новый способ диагностирования по критерию турбулентного режима течения жидкости по длине прохода "*l*" сопряжения.

Для обеспечения требуемого режима течения жидкости через капиллярный зазор необходимо выполнить условие по числу Рейнольдса, т.е. *Re* > 2200 ÷ 2300. Скорость *V* с учетом $Q_{ут}$ находим по формуле:

$$V = \frac{\Delta P \cdot S^2 \cdot \varphi}{12 \cdot \vartheta \cdot \rho \cdot l} \text{ (м/с).}$$

С учетом гидравлического радиуса кольцевого прохода (*d*/2), смоченного периметра прохода число Рейнольдса представим в виде:

$$\mathrm{Re} \approx \frac{\Delta P \cdot S^3 \cdot \varphi}{6 \cdot \vartheta^2 \cdot \rho \cdot l},$$

откуда необходимая кинематическая вязкость жидкости для достижения турбулентного движения жидкости через кольцевой проход *S* длиной l равна:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\Delta P \cdot S^3 \cdot \varphi}{6 \cdot \mathrm{Re} \cdot \rho \cdot l}} \text{ (сСт).}$$

При *ΔP* = 25 МПа; *Re* = 2200; ρ = 86,6 (кг·с^2)/м^4; *S* = 14·10^{-6}м; φ = 1,0 расчетная кинематическая вязкость ϑ = 0,816 сСт. Наиболее подходящая жидкость для диагностирования – вода с ингибитором, вязкость которой равна ϑ = 1,01 сСт.

С учетом коэффициента сопротивления прохода при турбулентном движении λ (формула Блазиуса) получим [3]:

$$S' = 0{,}262 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_{ут}^{1{,}75} \cdot \rho \cdot \vartheta^{0{,}25} \cdot l}{\Delta P \cdot d^{1{,}75}}} \text{ (м).}$$

Определив утечку $Q_{ут}$ на турбулентном режиме, определим зазор сопряжения в сборе.

Список литературы

1. *Башта Т.М.* Гидравлические приводы летательных аппаратов. – М. Машиностроение, 1967. – 494с.
2. *Дроздовский Г.П.* Проектирование лесопромышленного оборудования: учебное пособие. – Ухта: УИИ, 1991.- 133 с.
3. *Чупраков Ю.И.* Гидропривод и средства автоматики. М. Машиностроение, 1979. – 230с.

05.21.01

В.И. Юсенхан

Ухтинский государственный технический университет,
Институт Леса, кафедра лесных, деревообрабатывающих машин и метариаловедения,
Ухта, zav_ldm@ugtu.net

К ВОПРОСУ КРИТИЧНОСТИ ОТКАЗОВ ГИДРОЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Исследована качественная оценка возникающих отказов гидроэлементов гидропривода. Рассчитан показатель критичности ΣA_i идентичный для основных гидроэлементов с показателем функциональной надежности гидроэлементов.

Ключевые слова: *гидропривод, критичность отказов, коэффициент отказа, гидросистема.*

Исследование качественной оценки значимости возникающих отказов гидроэлементов гидропривода проводится двумя этапами:

- первый этап – исследование функциональной надежности гидропривода по показателю $A_{фгп}$ с учетом функциональной значимости гидроэлементов $K_{фi}$ и их коэффициентов отказов K_{oi};
- второй этап – отражает критичность (уровень тяжести) проявляющихся отказов j, что позволяет судить о сравнительно-экономических потерях в результате их проявления.

Оценка критичности отказов [1], [2] позволяет более объективно оценивать значимость надежности гидроэлементов на стадии проектирования структур гидропривода, систем управления, резервирования и систем определения их текущего технического состояния (диагностирование по заданным параметрам). В процессе рассмотрения вопроса используется алгоритм методики F.M.E.A (отказ-причина) [2] с аналитически-логической доработкой.

Рекомендуемый показатель критичности отказов i-элемента с учетом вида отказа j представлен в виде [1]: $A_{ij} = (\Lambda_{ij}/\Sigma\Lambda_{ij})\cdot 100\%$, однако, с введением нового понятия – параметр функциональной надежности гидропривода $A_{фi} = K_{фi}(1+K_{oi})$, а с учетом вида j отказа $A_{фij} = K_{фi}(1+K_{oij})$, показатель критичности отказов i-элемента по видам проявляющихся отказов j можно представить в виде: $A_{ij} = (\Lambda_{ij}/\Sigma\Lambda_{ij})\cdot K_{фij}(1+K_{oij})\cdot 100\%$, а [1] суммарный показатель критичности i-элемента по всем видам отказов j будет: $A_i = \sum_{j=1}^{m} A_{ij}$, где $K_{фi}$ - коэффициент функциональной значимости i-элемента; K_{oi} – коэффициент отказа i-элемента; A_{ij} – показатель критичности i-элемента j отказа; $\Lambda_{ij} = K_j\cdot\lambda_{ij}\cdot n_i$ **(2)**; $\Sigma\Lambda_{ij}$ – сумма приведенных интенсивностей всех j отказов; Λ_{ij} – приведенная интенсивность j вида отказов i-элемента; K_j – степень жесткости (тяжести последствий) j вида отказа; λ_{ij} – интенсивность отказа j вида i-элемента; n_i – число i-элементов в гидросистеме.

Различаем следующие виды отказов j:

- износ (постепенный параметрический вид отказа, ухудшающий работоспособность гидропривода, подчиняющийся нормальному распределению);
- защемление (внезапный вид отказа, нарушает функционирование гидропривода, подчиняется экспоненциальному закону проявления);
- трещины (разрушение, разрыв) – (внезапный вид отказа, прекращение функционирования, экспоненциальный закон проявления).

Устанавливаются [2] степени жесткости K_j в зависимости от вида отказа j:

K_j = 1,0 – досрочная замена i-элемента из-за несоответствия ТУ (экономические потери определяются стоимостью элемента и его замены);

K_j = 2-3 – последствия отказов незначительны (постепенные параметрические отказы);

K_j = 4-6 – снижение эксплуатационных свойств гидропривода (уменьшение рабочего давления, объемного η_0, рост дренажных утечек и др.);

K_j = 7-8 – прекращение функционирования гидросистемы (заклинивание, разрушение, разрывы элементов);

K_j = 9-10 – отказ связан с экологической угрозой окружающей среде или человеку (выброс гидрожидкости или).

Для определения параметра n_i рассмотрено около 20 гидросхем лесозаготовительных машин [3] различного технологического назначения, таблица 1.

Таблица 1 - Число гидроэлементов n_i в гидросистемах лесных машин

Технологический тип машины	Тип гидроэлемента					
	Вращательного ( ) типа		Возвратно-поступательного типа	Гидрораспределители		
	насосы	гидро моторы	Гидроцилиндры и	блочные	одиночные	количество золотников
ЛП-валочно-пакетирующие	2 ÷ 4	1 ÷ 4	8 – 12	2	2	11 – 12
ВТМ - валочно-трелевочные	2 ÷ 4	1	11 – 12	2 – 3	1	11 – 12
ЛТ - трелевочные	1 ÷ 2	-	4 – 10	2 – 3	1	3 – 7 (12)
СМ-сучкорезные	1 ÷ 4	1 ÷ 3	4 – 9	4 – 6	2	6 – 10 (16)
ПЛ-погрузочные	1 – 2	-	5 – 6	1	-	2 – 3

На первом этапе рассмотрения вопроса определены средние значения коэффициентов функциональной значимости $K_{фi}$ элементов в виде насосов, гидромоторов, распределителей: $K_{фн} = K_{фру} = 0{,}275$; гидроцилиндров – $K_{фгц} = 0{,}173$; трубопроводов и РВД – $K_{фтр} = 0{,}211$; фильтров, клапанов – $K_{фф} = 0{,}066$. Суммарный коэффициент функциональной значимости элементов в гидросистеме равен: $\Sigma K_{фi} = K_{фн} + K_{фтр} + K_{фгц} + K_{фру} + K_{фф} = 1{,}0$. Средние значения коэффициентов отказа i-элементов K_{oi} по всем видам отказов определены в виде: $K_{он} = 0{,}058$; $K_{ору} = 0{,}169$; $K_{огц} = 0{,}295$; $K_{орвд} = 0{,}207$; $K_{отр} = 0{,}262$; $K_{оф} = 0{,}009$; сумма $\Sigma K_{oi} = 1{,}0$. Коэффициент отказов резинно-технических изделий РТИ без РВД (насосы, гидромоторы, распределители) составил $K_{орти} = 0{,}2$.

По данным анализа эксплуатационной надежности машин идентичных условий использования [4] определены уровни интенсивностей отказов элементов λ_{ij} гидропривода, где также указаны значения K_j отказов и n_i, принятые в расчете с учетом частичного количества разрушающихся от образования трещин элементов, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 - Значение параметров λ_{ij}, K_j, n_i принятые в расчете

Тип гидроэлемента	Характер отказа j								
	износ			заклинивание			разрушение		
параметры	$\lambda_{ij}\cdot10^6$, 1/час	K_j	n_i	$\lambda_{ij}\cdot10^6$, 1/час	K_j	n_i	$\lambda_{ij}\cdot10^6$, 1/час	K_j	n_i
Насосы, гидромоторы	0,01	3	4	-	-	-	0,12	10	1
Распределительные устройства	0,054	3	10	0,112	5	10	1,0	10	1
гидроцилиндры	0,01	3	8	-	-	-	0,12	10	2
РВД, трубопроводы	-	-	-	-	-	-	0,56	10	16
РТИ	Неподвижные 0,02	3	50	-	-	-	-	-	-
	Подвижные 0,3	3	50						
	Вращающиеся 0,7	3	50						

По формулам (1) и (2) определены значения (средних по всем типам машин) показателей критичности A_{ij} i-элементов по видам отказов j, отраженные в таблице 3.

Таблица 3 - Значения показателя критичности отказов A_{ij} по элементам гидропривода

Тип гидроэлемента	Характер отказа j			ΣA_i
	постепенные	внезапные		
	износ	заклинивание	разрушение, разрыв	
Насосы, гидромоторы	2,645%	-	26,45%	29,1%
Распределительные устройства	3,024%	10,45%	18,67%	32,14%
гидроцилиндры	2,037%	-	20,37%	22,41%
РВД, трубопрводы	-	-	15,72%	15,72%
РТИ	Неподвижные 0,53%	-	-	19,5%
	Подвижные 7,9%			
	Вращающиеся 11,06%			
ΣA_{ij}	27,2%	10,45%	82,62%	

Анализ критичности отказов элементов гидропривода показывает, что наибольшие экономические потери проявления отказов (третьей группы сложности – разрушение, разрыв) по убыванию уровня значений A_{ij} имеют насосы, гидромоторы, гидроцилиндры, распределительные устройства, трубопроводы и рукава высокого давления (РВД). Суммарный вид отказа в виде их разрушения (82,6%) приводит как к прекращению функционирования гидропривода, так и к максимальным экономическим потерям. Критичность износовых отказов (A_{ij} = 27,2%) также высока, особенно РТИ, что говорит о необходимости повышения качества при выборе материала и качестве изготовления.

Суммарный показатель критичности ΣA_i идентичный для основных гидроэлементов с показателем функциональной надежности $A_{фi}$ в процентах позволяет качественно обосновать необходимость диагностирования в прцессе технических уходов таких гидроэлементов как распределительные устройства, насосы, РВД, гидроцилиндров. Дальнейшие разработки будут направлены на обоснование способов и технического обеспечения методов диагностирования распределительных устройств и РВД.

Список литературы

1. *Андрюшкин М.И.* и др. / М.И. Андрюшкин. Справочник по технологическим и транспортным машинам лесопромышленных предприятий и техническому сервису, М.: МГУЛ, 2000. – 531 с.

2. *Беленков Ю.А.* и др. / Ю.А. Беленков. Надежность объемных гидроприводов и их элементов, М.: Маш., 1977. - 166 с.

3. *Гриневич Г.П.* и др. / Г.П. Гриневич. Надежность строительных машин, М.: Стройздат., 1975. – 295 с.

4. *Кубарев А.И.* / А.И. Кубарев. Надежность в машиностроении, М.: Изд. стандартов, 1989. – 224 с.

05.23.11

Б.С. Юшков к.т.н., А.С. Сергеев

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
автодорожный факультет, кафедра автомобильные дороги и мосты,
г. Пермь, Zzverdvd@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАТУХАЮЩЕЙ ПОЛЗУЧЕСТИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ КОМПРЕССИИ

Разработана методика испытаний грунтов в компрессионных приборах. Представлены результаты проведенных экспериментов. Обусловлены расчетные характеристики песчаных и глинистых грунтов, позволяющие судить о степени их ползучести.

Ключевые слова: *испытания, грунт, ползучесть, разгрузка, влажность, плотность, суглинок, глина, песок, модуль.*

Исследование ползучести, длительной прочности глинистых грунтов имеет исключительное значение при проектировании различных сооружений. Для описания реологических свойств глинистых грунтов применяют различные методики.

Методика испытаний грунта в компрессионных приборах, разработанная с использованием ГОСТ 12248-96 (ГОСТ 23908-79/89), позволяет выполнять испытания грунтов природного и нарушенного сложения в условиях одноосного статического ступенчатого нагружения без возможности бокового расширения. [1] Концепция методики основана на проведении испытаний с образцами любой степени водонасыщения. Показателями ползучести грунтов являются: показатель относительной остаточной уплотняемости β_c, показатель относительной скорости ползучести β_t, условный предел начальной структурной прочности. Кроме того, данная методика позволяет определить модуль упругости грунта Е.

Недостатком является расчет характеристик ползучести по результатам вторичной консолидации, поэтому предпочтительнее исследование грунта в воздушно-сухом или слабоводонасыщенном состоянии.

Особенностью и существенным преимуществом предлагаемой методики является проведение и обработка результатов испытаний.

Ступени нагрузки и разгрузки должно быть равные по величине и рекомендуются: 0,025, 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,25, 0,30, 0,35, 0,40, 0,60, 0,80, 1,00 МПа. Количество ступеней нагрузки должно быть не менее шести в связи с требованиями по статической обработке. Продолжительность выдержки на всех ступенях нагрузки, кроме последней, принимается одной и той же, равной: а) при нагрузке несвязных грунтов – 0,5-2 часа, б) связных – от 2 часов до 2 суток на каждой ступени. При разгрузке – от 10-30 минут для несвязных, до 0,5-24 часа для связных. На всех ступенях нагрузки (разгрузки) замеры деформаций выполняются через 1,5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180 минут и далее через час до конца наблюдений. Замеров деформаций во времени должно быть также не менее шести. Полученные данные должны обеспечивать определение начала вторичной консолидации. Для измерений деформаций объемной ползучести грунтов предпочтительнее применять измерительные приборы, обеспечивающие точность измерений до 0,001 мм.

Обработка результатов испытаний грунтов начинается ещё в процессе испытаний построением графиков ползучести – зависимости относительных деформаций от логарифма времени для каждой ступени нагрузки, (Рис.1).

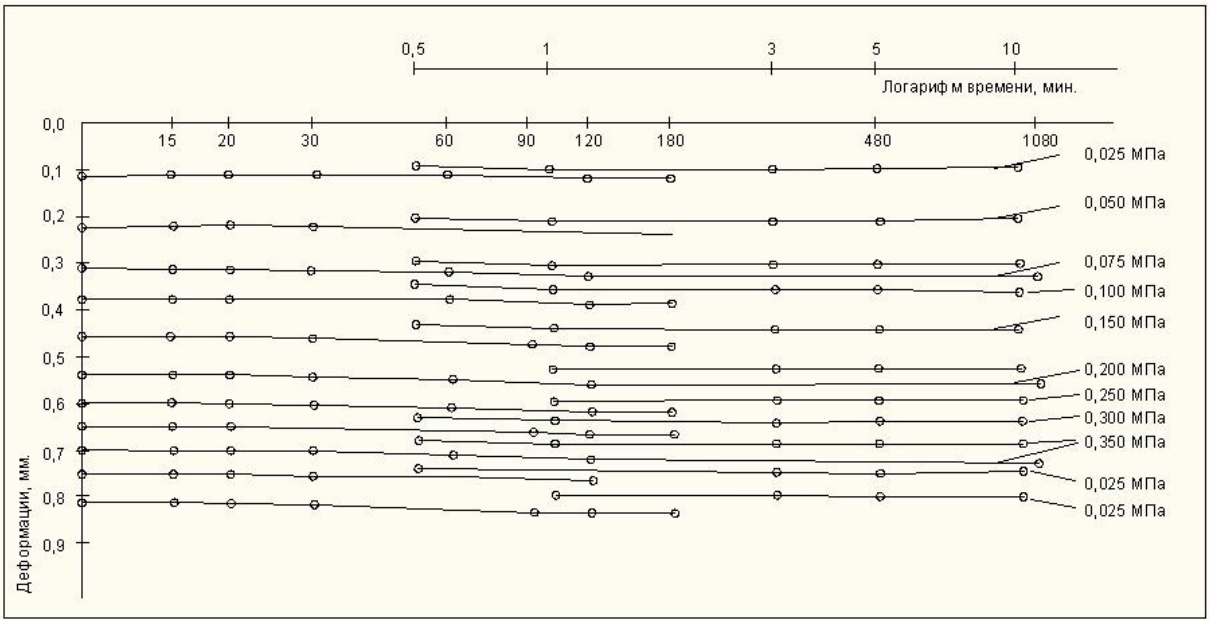


Рис. 1- Графики ползучести песка при загружении

Графики ползучести дают возможность графически определить время начала ползучести и получения на стадии вторичной консолидации необходимого количества экспериментальных точек (не менее шести). По завершении испытаний строятся графики зависимости относительных деформаций от логарифма нагрузки при t = t_c, (Рис.2).

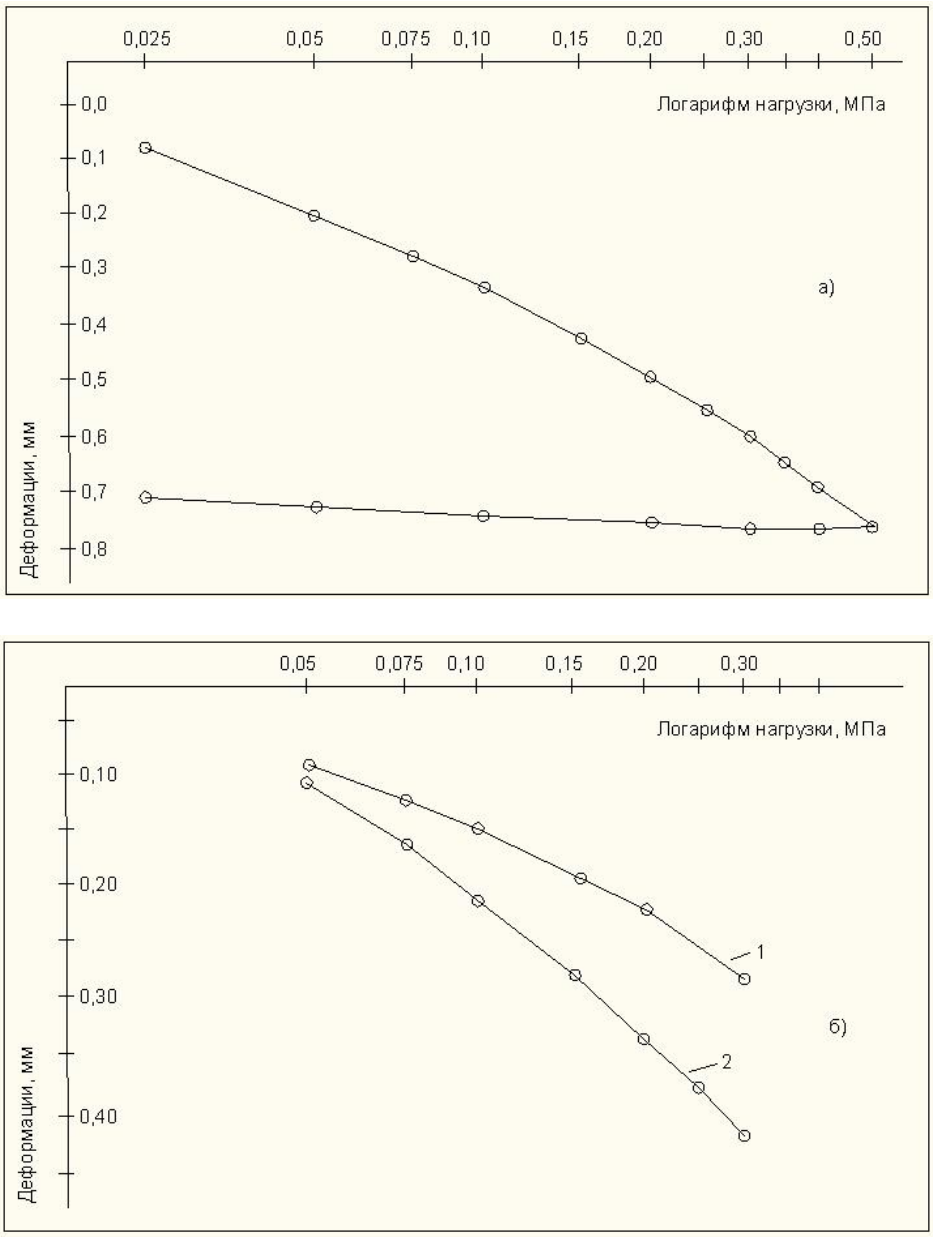


Рис. 2- Типичные графики зависимости деформации песков от нагрузки: а и б (1 – в воздушно-сухом состоянии, 2 – в водонасыщенном состоянии)

Определение практических характеристик объемной ползучести грунтов выполняется расчетным путем по опытным данным с применением метода наименьших квадратов.

При определении характеристик ползучести связных водонасыщенных грунтов до выполнения вычислений необходимо определить время завершения фильтрационной консолидации, методом Казагранде. [2] После определения времени начала вторичной консолидации на каждой ступени нагрузки отсчет времени объемной ползучести следовало бы выполнять от начала вторичной консолидации отдельно для любой ступени нагрузки. Однако это существенно осложняет всю методику проведения испытаний грунтов. Поэтому найденное время начала вторичной консолидации на каждой ступени нагрузки используется в дальнейших расчетах лишь как начальная граница области опытных значений деформаций и времени их проявления.

Определение характеристик начинается с вычисления модуля упругости грунта по данным измерений при разгрузке после всех ступеней уплотнения [3]:

$$E = \frac{P_к}{\varepsilon_{ко}} = \frac{P_к h_0}{\Delta h_{ко}}$$

где $P_к$ - максимальная конечная ступень нагрузки, МПа.

$\varepsilon_{ко}$ - обратимая часть относительной деформации, измеряемая при разгрузке после всех ступеней уплотнения.

Δh - начальная высота образца грунта, мм.

$\Delta h_{ко}$ - приращение обратимой части деформации, мм.

Характеристики ползучести – условный предел начальной структурной прочности (P_c) и показатель относительной остаточной уплотняемости (β_c) – условно стабилизированного процесса вычисляются по данным измерений, полученным на разных ступенях нагрузки при t = t_c по зависимостям:

$$P_c = exp\frac{\sum_1^n lnp_i \sum_1^n(\varepsilon_i)^2 - \sum_1^n \varepsilon_i lnp_i \sum_1^n \varepsilon_i}{\sum_1^n(\varepsilon_i)^2 - (\sum_1^n \varepsilon_i)^2}$$

$$\beta_c = \frac{n\sum_1^n \varepsilon_i lnp_i - \sum_1^n \varepsilon_i \sum_1^n lnp_i}{n\sum_1^n(lnp_i)^2 - (\sum_1^n lnp_i)^2}$$

где ε_i - относительная деформация от действия уплотняющей нагрузки p_i при стабилизированном времени t_c.

n – количество ступеней нагрузки p_i.

i – порядковый номер значений ε_i и p_i.

Вычисление показателя относительной скорости ползучести (β_t) выполняется по данным консолидационных испытаний на последней ступени нагрузки или более достоверно по данным консолидационных измерений на каждой ступени нагрузки с последующим осреднением полученных значений:

$$\beta_t = \frac{K\sum_1^n \varepsilon_j lnt_j - \sum_1^n \varepsilon_j \sum_1^n lnt_j}{\beta_c\left[K\sum_1^n(lnt_j)^2 - (\sum_1^n lnt_j)^2\right] ln\frac{P}{P_c}}$$

где ε_j – относительная деформация грунта, соответствующая времени t_j для одной ступени нагрузки.

β_c, P_c - характеристики, вычисленные по формулам.

P – среднее удельное уплотняющее давление на рассматриваемой ступени нагрузки.

K – общее количество рассматриваемых значений ε_j и t_j.

i – порядковый номер значения.

Достоверность полученных характеристик ползучести подтверждается статистическими параметрами: среднеквадратическим отклонением, коэффициентом вариации и показателем точности оценки среднего значения характеристик.

Для проверки и конкретной оценки реологических свойств были проведены лабораторные консолидационные испытания грунтов в компрессионных приборах. Программой испытаний было предусмотрено исследование глинистых и песчаных грунтов.

Начальные физические характеристики исследованных грунтов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физические характеристики исследованных грунтов

Лаборат номер образца	Плотность сухого грунта, г/см³	Плотность частиц грунта, г/см³	Влажность, %			Показатель консистенции
			естественная	на границе текучести	на границе раскатывания	
Пески среднезернистые						
10	1,63	2,69	12,7			
11	1,64	2,69	12,2			
12	1,64	2,69	12			
13	1,64	2,69	12,5			
14	1,63	2,69	12,8			
15	1,64	2,69	12,5			
16	1,63	2,69	12,7			
17	1,64	2,69	12,2			
Суглинки						
1	1,70	2,70	22,2	32,7	20	0,17
2	1,75	2,63	18,7	31,1	26,2	<0
3	1,81	2,72	19,2	31,9	20,5	<0
4	1,74	2,66	20,2	32,7	20,4	<0
5	1,78	2,69	21,2	29,6	18,6	0,24
6	1,62	2,70	28,2	33,5	19,5	0,26
7	1,56	2,70	24,9	36,5	21	0,25
8	1,57	2,70	24,8	36,5	21	0,24
Глины						
1	1,75	2,71	13,8	38,8	19,7	<0
2	1,73	2,71	12,8	38,7	19,7	<0
3	1,72	2,71	15,4	38,7	19,7	<0

Из всего количества проведенных экспериментов (32) было отбраковано 3 эксперимента. Причинами непригодности опытных данных для последующего расчета характеристик были заклинивание штампа в кольце, случайные удары и сдвиги измеряющих деформации приборов. Для этих образцов были построены графики ползучести и компрессии, которые помогли определить грубые ошибки, допущенные при выполнении экспериментов.

Для 29 образцов грунтов по методике, описанной выше были рассчитаны характеристики ползучести, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Расчетные характеристики грунтов

Лаборат номер образца	Начальная плотность сухого грунта, г/см^3	Модуль упругости (Е), МПа	Показатель относительной остаточной уплотняемости, $(\beta_c) \cdot 10^{-2}$	Условный предел начальной структурной прочности, (P_c)кПа	Показатель относительной скорости ползучести, $(\beta_c) \cdot 10^{-2}$
Пески среднезернистые					
10	1,63	42,194	1,08	17,19	1,32
11	1,64	37,594	0,75	14,71	1,95
12	1,64	41,494	1,10	19,90	1,46
13	1,64	49,470	0,85	16,55	1,49
14	1,63	63,644	1,14	21,76	1,43
15	1,64	42,461	0,81	17,01	1,66
16	1,63	63,110	1,02	17,71	1,32
17	1,64	49,379	0,86	15,28	1,52
Среднее значение		48,668	0,95	17,51	1,52
Суглинки					
6	1,62	14,07	0,22	18,40	6,90
7	1,56	10,71	0,83	30,03	2,69
8	1,57	9,73	0,18	24,10	11,56
1	1,70	56,56	1,18	27,83	1,01
3	1,81	134,41	1,56	72,06	2,25
5	1,78	50,40	0,78	61,08	3,18
Глины					
1	1,75	48,702	0,36	39,09	5,23
2	1,73	29,696	0,73	24,27	1,03
3	1,72	23,702	0,70	16,88	2,02

Как видно из таблице 2 средние значения характеристик возможно определить только для среднезернистых песков. Средняя абсолютная погрешность по разбросу расчетных значений всех показателей от среднего значения не превышает 15%, что для грунтов считается допустимым. Объясняются такие результаты тем, что образцы песков были отобраны из одного массива, то есть они имеют общие генетические признаки. Испытания проводились с образцами, имеющими очень близкие значения начальной плотности и влажности. Эти условия явились гарантией того, что полученные отдельные значения расчетных характеристик испытанных образцов песка находятся в допустимых пределах разброса. Таким образом, можно говорить о том, что полученные расчетные показатели ползучести и упругости характерны для песчаных грунтов.

Иначе обстоит дело с расчетными показателями глинистых грунтов. Полученные расчетные характеристики глинистых грунтов (особенно суглинков) имеют разброс значений до 70%. Это не дает возможности обобщать результаты и определять средние значения показателей для всей группы суглинков, глин. Для этих грунтов большое влияние на характеристики ползучести оказывают генетические условия формирования грунтов, начальные влажность и плотность грунта.

Однако нельзя сказать, что полученные экспериментальные данные по глинистым грунтам являются случайными величинами. За исключением единичных значений (образец №1) можно иметь представление о свойствах ползучести исследуемых грунтов, так как это величины одного порядка и характеризуют только определенную группу грунтов [4].

О свойствах ползучести и упругости глин на основании оставшихся результатов трех опытов судить довольно затруднительно. Однако, в общем о глинистых грунтах (глинах и суглинках) можно сказать следующее. Если исключить наибольшее полученное значение модуля упругости (образец №1), то следует отметить, что модуль упругости глинистых

грунтов близок или ниже модуля упругости песков. По степени уплотняемости, характеризуемой показателем относительной остаточной уплотняемости, глинистые грунты приблизительно одного порядка с песчаными, за исключением данных по образцам суглинка №1 и №3, имеющими более высокие значения этого показателя. Условный предел начальной структурной прочности для глинистых грунтов выше по сравнению с песками. Это объяснимо, если учесть влияние на структурную прочность вязкости глинистых грунтов. Скорость ползучести у глинистых грунтов выше по сравнению с песчаными в 3-6 раз.

Для каждого образца составлялся паспорт, в котором собраны данные о начальных показателях грунта (плотность частиц грунта, плотность скелета, влажность – естественная, на границе текучести, на границе раскатывания, консистенция, гранулометрический состав). Затем для каждого образца грунта построены графики: компрессии и декомпрессии, ползучести для каждой ступени нагрузки. Примеры построения графиков приведены на рис. 1 и 2. Расчетные характеристики ползучести и упругости, а также показатели точности их вычислений в каждом паспорте.

Степень достоверности расчетных характеристик ползучести и упругости оценивалась коэффициентом регрессии, величина которого получена в пределах 0,98 – 0,99. Это свидетельствует о достаточном соответствии принятых теоретических предпосылках действительным процессам, происходящим в грунтах. Для определения вида зависимости упругих нелинейных деформаций от нагрузки и времени ее действия строились графики ползучести по разгрузке, рис. 3, которые вместе с графиками декомпрессии позволяют делать вывод об аналогичности этой зависимости нелинейной зависимости остаточных деформаций от величины нагрузки и времени ее действия.

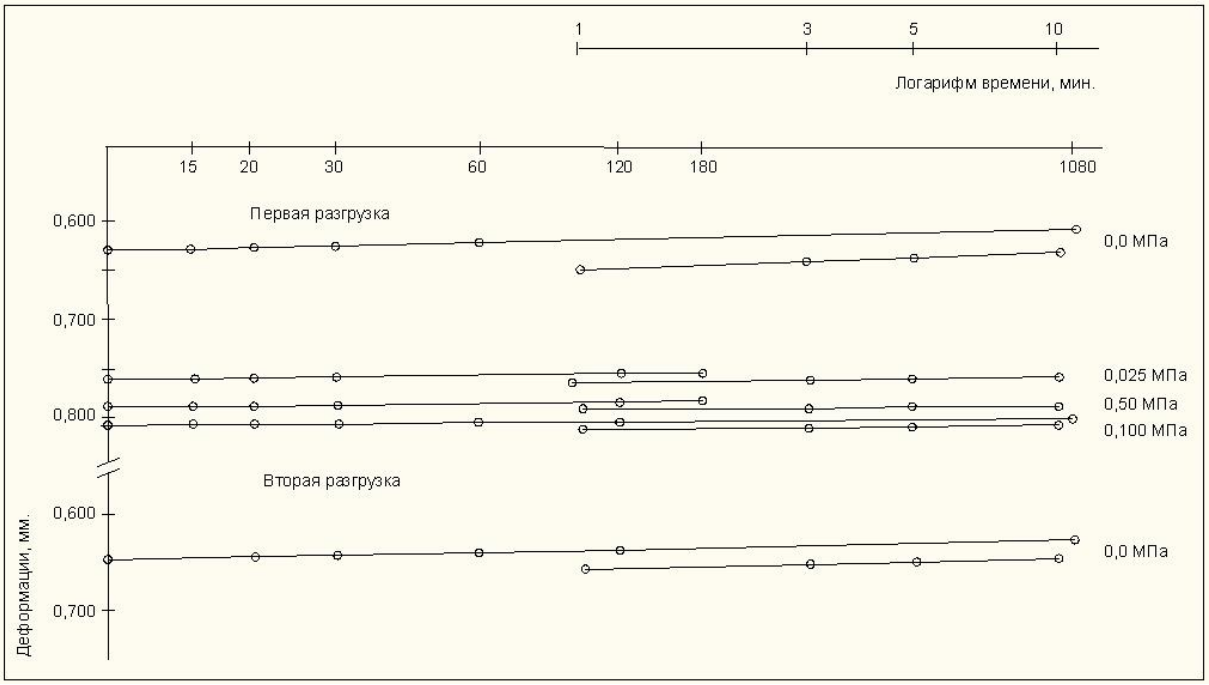


Рис. 3- Графики ползучести песка при разгрузке

Заключение. Для проверки принятых теоретических предпосылок выполнены экспериментальные лабораторные исследования песчаных и глинистых грунтов.

Для выполнения экспериментов разработана методика испытаний грунтов в компрессионных приборах. Основные отличия предлагаемой методики от методики ГОСТ 12248-96 (ГОСТ 23908-79/89) заключается в проведении испытаний и обработке результатов. Все ступени нагрузки выдерживаются одно и то же время и количество точек во времени на стадии затухающей ползучести должно быть не менее шести, как и количество точек на ветви компрессии.

В результате проведенных экспериментов получены расчетные характеристики песчаных и глинистых грунтов, позволяющие судить о степени их ползучести. Ползучесть проявляется в наибольшей степени у водонасыщенных суглинистых грунтах, затем в порядке убывания следуют глинистые и песчаные грунты. Частные расчетные характеристики для каждого образца имеют коэффициент корреляции 0,98 - 0,99, что говорит о соответствии принятой зависимости действительности. Разброс отклонений расчетных показателей от средних значений для всех образцов песка составляет не более 15%, для остальных грунтов, при исключении отдельных данных, эта величина также находится в этих пределах.

Список литературы

1. ГОСТ 12248-96 “Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости”, Москва, 2005, 14-19 с.
2. *Вялов С.С.* Реологические основы механики грунтов М.: Высшая школа, 1978.
3. *Ухов С.Б.* и др. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Издательство АСВ, 1994.
4. *Месчян С.Р.* Экспериментальная реология глинистых грунтов. М.: Недра, 1985.
5. *Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С.* Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994..
6. *Бартоломей А.А.* Основы расчета ленточных свайных фундаментов по предельно допустимым осадкам. М.: Стройиздат, 1982..
7. *Бронин В.Н. Вишневицкий Г.Д.* Прикладная теория ползучести грунтов: Учеб. пособие. Л.: ЛИСИ, 1983..
8. *Кузнецов Г.Б.* Об одном подходе к описанию ползучести и релаксации материалов до разрушения. В кн.: Исследования по механике полимеров и систем. Свердловск, 1978.
9. *Кузнецов Г.Б.* О влиянии скорости в начале процесса на ползучесть и релаксацию материалов // Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений. Пермь Перм. политехн. ин-т, 1972.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.А. Ачкасов
К ВОПРОСУ О КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ С U-ОБРАЗНОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРОЙ
Ключевые слова: виброабразивная обработка, критерий оптимизации, проектирование вибростанков.

В работе предложен критерий оптимизации оборудования для виброабразивной обработки с U-образной рабочей камерой, разработанный на основе проведенных автором экспериментальных исследований.

V.A. Achkasov
ABOUT CRITERIA OF OPTIMIZATION OF EQUIPMENT FOR VIBROABRAZIVE PROCESSING WITH U-SHAPED WORKING CHAMBERS
Keywords: vibroabrazive processing, optimization criterion, design of vibromachine

In this work proposed the optimization criterion of equipment for vibroabrazive processing with U-shaped working chamber developed on the basis of the author's experimental studies.

А.С. Вохминцев, Д.М. Спиридонов, Д.В. Чайкин, М.Г. Минин, И.А. Вайнштейн
ДОЗОВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИ СТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ
Ключевые слова: AlN, ОСЛ, послесвечение, фединг.

Исследованы параметры дозовых зависимостей β-облученных монокристаллов AlN методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) в режиме непрерывной волны. Установлено, что радиационно-индуцированное послесвечение является одним из каналов фединга дозиметрического сигнала и влияет на параметры линейности дозовых зависимостей. Показано, что для корректной оценки дозы облучения требуется учет послесвечения при анализе дозовых характеристик ОСЛ отклика.

A.S. Vokhmintsev, D.M. Spiridonov, D.V. Chaykin, M.G. Minin, I.A.Weinstein
DOSE DEPENDENCES OF THE OPTICAL STIMULATED LUMINESCENCE PARAMETERS IN ALUMINUM NITRIDE SINGLE CRYSTALS
Keywords: AlN, CW-OSL, afterglow, fading.

The parameters of dose dependences obtained by continuous wave optically stimulated luminescence (CW-OSL) technique in β-irradiated AlN single crystals were studied. It was established the radiation-induced afterglow is one of the possible channels of dosimetric signal fading and affect the dosimetric parameters of material considered. It was shown the evaluation of irradiation dose required correct accounting afterglow in the analysis of the OSL response.

Е.Ю. Макарова, Ю.В. Соколкин
ЭФФЕКТИВНЫЕ УПРУГИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПОРИСТЫХ КОМПОЗИТОВ С УЧЕТОМ ЕСТЕСТВЕННОГО РАЗБРОСА СВОЙСТВ МАТРИЦЫ
Ключевые слова: эффективные упругие свойства, высокопористые композиты, локально-эргодическая модель.

Предложена нелинейная модель прогнозирования эффективных упругих свойств высокопористых композитов с учетом естественного разброса упругих свойств матрицы.

E.Yu. Makarova, Yu.V. Sokolkin
EFFECTIVE ELASTIC PROPERTIES OF THE HIGH PORE COMPOSITES WITH THE NATURAL DISPERSION OF THE MATRIX PROPERTIES
Keywords: Effective elastic properties, high pore composites, local-ergodic model.

Nonlinear model for predicting of the elastic properties of the high pore composites is proposed. It takes into consideration the natural dispersion of the matrix properties.

А.В. Михайлов, В.Л. Шаблов
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БОРНОВСКИЕ РЯДЫ В ПРЕДСТАВЛЕНИИ ИСКАЖЕННЫХ ВОЛН В КВАНТОВОЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ЧАСТИЦ С ЧИСТО КУЛОНОВСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ
Ключевые слова: квантовая теория рассеяния, кулоновское взаимодействие, амплитуда перехода, борновские ряды, метод искаженных волн, приближение искаженных волн.

Разработан метод частичного суммирования модифицированных борновских рядов, задающих

A.V. Mikhailov, V.L. Shablov
MODIFIED BORN SERIES IN THE DISTORTED-WAVE REPRESENTATION IN THE QUANTUM PROBLEM OF A THREE PARTICLE SYSTEM WITH THE PURE COULOMB INTERACTION
Key words: quantum scattering theory, Coulomb interaction, transition amplitude, Born series, distorted-wave method, distorted wave Born approximation.

The method of the partial summation of modified Born series which define the perturbation expansion of the break-up amplitude in a three-particle system with the

разложение в ряд по кратности взаимодействия амплитуды процесса развала в системе 3-х частиц с чисто кулоновским взаимодействием, который приводит к представлению искаженных волн для этой амплитуды и новому приближению искаженных волн.

pure Coulomb interaction is developed. As a result the distorted-wave representation and the new distorted-wave Born approximation for this amplitude are obtained.

И.М. Морсаков, А.В. Солнышкин, А.А. Богомолов, И.Л. Кислова, М.В. Силибин, Д.А. Киселев, В.В. Шварцман, О.М. Сеньченко

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ P(VDF-TrFE) С СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КЕРАМИКОЙ

Ключевые слова: диэлектрические свойства, полярный полимер, сегнетоэлектрическая керамика, композиционный материал.

В работе изучены диэлектрические свойства композитных образцов на основе сополимера винилиденфторида с трифторэтиленом P(VDF-TrFE) с включениями керамики цирконата титаната бария свинца (ЦТБС). Определены зависимости диэлектрической проницаемости от объемного содержания керамики и дисперсия диэлектрических характеристик.

I.M. Morsakov, A.V. Solnyshkin, A.A. Bogomolov, I.L. Kislova, M.V. Silibin, D.A. Kiselev, V.V. Schwartzman, O.M. Sen′chenko

DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF COMPOSITE FILMS BASED ON P(VDF-TrFE) AND FERROELECTRIC CERAMICS

Keywords: *dielectric properties, polar polymer, ferroelectric ceramics, composite material*

In this work the dielectric properties of composite films on the base of poly(vinylidene fluoride-triflouroethylene) copolymer P(VDF-TrFE) and ferroelectric ceramics inclusions of barium lead zirconate titanate were investigated. The dependence of dielectric permittivity on ceramics volume fraction and dielectric dispersion were determined.

М.А. Полоус, В.И. Ярыгин

МЕТОДИКА ТРЕХМЕРНОГО РАСЧЕТА ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Ключевые слова: термоэмиссионный преобразователь, метод конечных элементов, сопряженный расчет.

С помощью разработанного программного кода конечно-элементного анализа решается задача трехмерного численного моделирования тепловых и электрических процессов в экспериментальном термоэмиссионном преобразователе, предназначенном для ресурсных испытаний эффективных электродных материалов.

M.A. Polous, V.I. Yarygin

METHOD OF THREE-DIMENSIONAL CALCULATION OF OUTPUT CHARACTERISTICS OF THE EXPERIMENTAL THERMIONIC CONVERTER

Keywords: thermionic converter, finite element method, coupled calculation.

The problem of three-dimensional numerical modeling of thermal and electrical processes in the experimental thermionic converter designed for endurance tests of efficient electrode materials is solved by using of the specially developed FEA code.

А.В. Солнышкин, А.А. Богомолов, И.М. Морсаков, М.В. Силибин, Д.А. Киселев, А.А. Дронов, К.С. Сеньченко

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ P(VDF-TrFE)

Ключевые слова: пироэлектрический эффект, сегнетоэлектрический полимер, композит.

В настоящей работе динамическим методом выполнены исследования пироэлектрических свойств пленочных образцов композитного материала на основе сополимера винилиденфторида с трифтроэтиленом P(VDF-TrFE) с различным уровнем содержания включений сегнетоэлектрической керамики системы цирконата титаната свинца.

A.V. Solnyshkin, A.A. Bogomolov, I.M. Morsakov, M.V. Silibin, D.A. Kiselev, A.A. Dronov, K.S. Sen′chenko

PYROELECTRIC PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS ON THE BASE OF P(VDF-TrFE)

Keywords: *pyroelectric effect, ferroelectric polymer, composite.*

In this work the pyroelectric properties of composite films on the base of poly(vinylidene fluoride-triflouroethylene) copolymer P(VDF-TrFE) with a various level of ferroelectric ceramics inclusions of lead zirconate titanate solid solution were investigated by the dynamic method.

Д.В. Харитонов, И.А. Вайнштейн

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТОГО МЕТАМАТЕРИАЛА Ag-MgF_2-Ag С ФРАКТАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКОЙ

Ключевые слова: метаматериалы, отрицательный коэффициент преломления, фракталы.

D.V. Kharitonov, I.A. Weinstein

SIMULATION OF THE OPTICAL PROPERTIES IN LAYERED Ag-MgF_2-Ag METAMATERIAL WITH FRACTAL CELL

Keywords: metamaterials, negative refractive index, fractals.

Проведено исследование сетчатого метаматериала с единичной ячейкой в виде ковра Серпинского. Выполнен численный анализ спектральных зависимостей эффективных оптических параметров, в том числе показателя преломления, диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости. Обнаружен сдвиг спектральных особенностей в длинноволновую область с увеличением размера фрактальной единичной ячейки.

Planar negative-index fishnet-like metamaterial with Sierpinski carpet geometry of unit cell was studied. Spectral dependencies of the optical parameters including refractive index, electric permittivity and magnetic permeability were analyzed. Red shift of spectral features with the increasing size of fractal unit cell was observed.

Ф.А. Зайнуллин

К ПРОБЛЕМЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ РЕАГЕНТОВ ПРИ ПОЛИМЕРНОМ ЗАВОДНЕНИИ

Ключевые слова: увеличение нефтеотдачи, потокоотклоняющая технология, полимер, заводнение, проницаемость пласта.

Одним из перспективных способов совершенствования заводнения нефтяных месторождений (особенно содержащих нефти повышенной вязкости) является снижение подвижности закачиваемой воды путем добавления к ней высокомолекулярных соединений — водорастворимых полимеров. Одним из преимуществ использования полимеров является экологическая безопасность их применения в нефтедобыче.

F.A. Zainullin

ON THE PROBLEM OF ECOLOGICALLY SAFE REAGENTS IN THE PROCESS OF WATER FLOODING

Key words: enhanced oil recovery, flow diverting technology, water flooding, polymer, reservoir permeability.

One of the contemporary methods of improving the flooding of oil fields (particularly those containing oil of high viscosity) is to reduce the mobility of water by the addition thereto of macromolecular compounds - water-soluble polymers. The main advantage of use of polymers in oil production is its ecological safety.

О.В. Манаенков, О.Ю. Макеева, А.Е. Филатова, М.Г. Сульман, А.И. Сидоров, А.В. Быков, В.Г. Матвеева, М.Е. Григорьев, Э.М. Сульман

КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТРОЛА ДЛЯ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПОЛИОЛЫ

Ключевые слова: сверхсшитый полистирол, гетерогенный катализ, структурно-морфологические свойства катализаторов, целлюлоза, полиолы.

В работе представлены результаты физико-химических исследований Ru-содержащих катализаторов на основе сверхсшитого полистирола (СПС) и его функционализированных аналогов, использующихся в процессе конверсии целлюлозы в полиолы. Показана взаимосвязь структурных и морфологических свойств катализаторов Ru/СПС и эффективности их действия.

O.V. Manaenkov, O.Yu. Makeeva, A.E. Filatova, M.G. Sulman, A.I. Sidorov, A.V. Bykov, V.G. Matveeva, M.E. Grigoryev, E.M. Sulman

HYPERCROSSLINKED POLYSTYRENE-SUPPORTED CATALYST FOR CELLULOSE CONVERSION PROCESS TO POLYOLS

Keywords: hypercrosslinked polystyrene, heterogeneous catalysis, structural and morphological properties of the catalyst, cellulose, polyols.

This study includes physico-chemical research of hypercrosslinked polystyrene-supported (HPS) Ru catalysts and their functionalized analogues using for cellulose conversion process. The interrelation of structural and morphological properties of the catalysts Ru/HPS and their effectiveness was shown.

М.И. Панфилова, М.В. Фомина, И.С. Панфилова

ВОПРОСЫ ВЫБОРА ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЭРИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: инъекционные растворы, адсорбция, равновесная концентрация, бентонит.

В данной работе рассматривается вопрос подбора пенообразователя при производстве аэрированных систем. В качестве пенообразователей используют различные ПАВ или технические средства.

В процессе исследования было установлено, что наиболее предпочтительным для использования в качестве пенообразователя при получении вспененных систем является синтамид-5.

M.I. Panfilova, M.V. Fomina, I.S. Panfilova

QUESTIONS OF CHOICE IN THE PRODUCTION OF AERATED FOAM SYSTEMS

Keywords: injections, adsorption equilibrium concentration, bentonite.

In this paper we consider the problem of selection in the production of aerated foam systems. As blowing agents in the production of aerated systems use different surfactants or facilities.

The study found that the most preferred for use as a blowing agent in foam systems is getting sintamid-5.

М.И. Панфилова, М.В. Фомина, И.С. Панфилова

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ТЕХНИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНЪЕКЦИОННЫХ РАСТВОРОВ

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, технические моющие растворы, кратность вспененной суспензии.

В транспортном строительстве для улучшения механических и физико-химических свойств бетона вместо индивидуальных ПАВ используют технические моющие растворы.

Было установлено, что добавки технического моющего раствора на основе "ОП-10" приводят к получению более стабильной, вспененной системы, имеющей повышенную прочность.

M.I. Panfilova, M.V. Fomina, I.S. Panfilova

SOME FEATURES OF THE INFLUENCE OF ADDITIVES TECHNICAL CLEANING PRODUCTS ON THE STABILITY AND STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF INJECTION SOLUTIONS

Keywords: surface-active agents, technical cleaning solutions, multiplicity foam suspension.

To improve the mechanical, physical and chemical properties of concrete using various organic and inorganic compounds as special additives. These additives are modifiers of concrete.

In the construction of the most interesting are polymer-concrete, ie concrete on cement binder modified with polymers, the stability of which is determined by the presence of a dispersion medium surfactant stabilizers.

In transport construction for injection is used in place of individual surfactants technical cleaning solutions "OP-10" and "Progress".

It was found that the addition of technical cleaning solution based on the "OP-10" results in a more stable foam system with high durability.

А.А. Хасанов, В.А. Ефимов, Ж.С. Жулева

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСЧЕТА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Ключевые слова: молекулярно-массовое распределение, математическая модель, методология, расчет.

Рассмотрены методологические вопросы расчета молекулярно-массового распределения (ММР) полимеров, образующихся в процессе обратимой живущей полимеризации. Предложен критерий, определяющий степень достоверности расчета ММР. Показано, что для расчета ММР полимеров, характеризующихся распределением Пуассона, максимальная длина рассчитываемой цепи должна быть не менее удвоенной среднечисленной степени полимеризации.

A.A. Hasanov, V.A. Efimov, Zh.S. Zhuleva

SOME METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE CALCULATION OF MOLAR MASS DISTRIBUTION

Keywords: molar mass distribution, mathematical model, methodology, calculation

Methodological questions of calculation the molar mass distribution (MMD) of polymers formed during reversible living polymerization are considered. The criterion defining degree of reliability of calculation of MMD is offered. It is shown that for the calculation of MMD polymers characterized by a Poisson distribution, the maximum length calculated chain should be at least twice the average degree of polymerization.

Р.И. Адгамов, С.В. Дмитриев, Т.Н. Каримов, А.Х. Хайруллин

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Ключевые слова: автоматизация технологических процессов, производительность, математическое моделирование, теория массового обслуживания.

В работе представлена математическая модель оценки производительности автоматизированного станочного комплекса в процессе выбора структуры системы управления при широком диапазоне изменения исходных проектных данных многономенклатурного производства в машиностроении.

R.I. Adgamov, S.V. Dmitriev, T.N. Karimov, A.H. Khairullin

MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATING THE PERFORMANCE OF MULTINOMENCLATURE AUTOMATED PRODUCTION ENGINEERING

Keywords: process automation, performance, simulation, queuing theory.

This paper presents a mathematical model for evaluating the performance of automated machinery in the process of selecting complex governance structure with a wide range of original design data multinomenclature industrial manufacture.

Р.И. Адгамов, С.В. Дмитриев, Т.Н. Каримов, А.Х. Хайруллин

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: автоматизация технологических процессов, производительность, математическое моделирование, теория массового обслуживания.

В работе представлены результаты исследований математической модели оценки производительности автоматизированного станочного комплекса с централизированной системой управления в процессе выбора структуры системы управления при широком диапазоне изменения исходных проектных данных многономенклатурного производства в машиностроении.

R.I. Adgamov, S.V. Dmitriev, T.N. Karimov, A.H. Khairullin

PERFORMANCE EVALUATION OF AUTOMATED PRODUCTION SITE ENGINEERING COMPANIES IN CENTRAL CONTROL SYSTEM

Keywords: process automation, performance, simulation, queuing theory.

This paper presents the results of the study of mathematical models for assessing the performance of automated machining complex with centralized control system in the process of choice of control systems for a wide range of original design data multinomenclature industrial manufacture.

Р.И. Адгамов, С.В. Дмитриев, Т.Н. Каримов, А.Х. Хайруллин

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ГОРЯЧИМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: автоматизация технологических процессов, производительность, математическое моделирование, теория массового обслуживания.

В работе представлены результаты исследований математической модели оценки производительности автоматизированного станочного комплекса с горячим резервированием системы управления, при широком диапазоне изменения исходных проектных данных многономенклатурного производства в машиностроении.

R.I. Adgamov, S.V. Dmitriev, T.N. Karimov, A.H. Khairullin

PERFORMANCE EVALUATION OF AUTOMATED PRODUCTION SITE ENGINEERING COMPANIES HOT SPARE MANAGEMENT

Keywords: process automation, performance, simulation, queuing theory.

This paper presents the results of the study of mathematical models for assessing the performance of automated machining complex, hot-standby control system, with a wide range of original design data multinomenclature industrial manufacture.

А.С. Андреев, А.О. Артемова

ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ГОЛОНОМНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: математическое моделирование, голономная механическая система, управление движением, стабилизация, функция Ляпунова, робототехническая система, трехзвенный манипулятор.

В работе рассматривается задача об управлении движением голономной механической системы, описываемой уравнениями Лагранжа второго рода. Ставится задача построения непрерывного и релейного управлений, обеспечивающих нелокальную стабилизацию спектра программных движений такой системы. Решение этой задачи применимо для моделирования управляемого движения манипуляторов, мобильных роботов и других робототехнических систем. Эффективность представленного алгоритма управления показана на примере математического моделирования управляемого движения трехзвенного манипулятора.

A.S. Andreev, A.O. Artemova

ON THE HOLONOMIC MECHANICAL SYSTEM MOTION CONTROL

Keywords: mathematical modeling, holonomic mechanical system, motion control, stabilization, Lyapunov function, robotic system, three-link manipulator.

This paper considers a problem of motion control of a holonomic mechanical system described by the Lagrange equations of the second kind. We pose the problem of constructing a continuous and relay controls, providing non-local stabilization of the spectrum of program motions of the system. Solution of this problem have a practical application in the modeling of controlled motion manipulators, mobile robots and other robotic systems. Efficient of this control algorithm was shown on the example of mathematical modeling of controlled motion in case of three-link manipulator.

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, А.П. Бибичев,
С.В. Старков, Д.В. Щенятский, Д.В. Зимин,
В.Я. Модорский

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Объектом исследования является газодинамический тракт стенда для газоперекачки. Газогидродинамический тракт рассматривается в двух исполнениях: с горизонтальным входом в авиационный двигатель и с вертикальным входом.
Целью исследования является разработка методики численного прогнозирования обледенения воздуховодов переменного сечения.

I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, A.P. Bibichev,
S.V. Starkov, D.V. Shchenyatsky, D.V. Zimin,
V.Ya. Modorsky

TECHNIQUE OF NUMERICAL FORECASTING OF FROSTING OF AIR DUCTS OF VARIABLE SECTION

Object of research is the gasdynamic path of the stand for gas-transfer. The gas-hydrodynamic path is considered in two executions: with a horizontal entrance to the aviation engine and with a vertical entrance.
Research objective is development of a technique of numerical forecasting of frosting of air ducts of variable section.

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, А.П. Бибичев,
С.В. Старков, Д.В. Щенятский, Д.В. Зимин,
В.Я. Модорский

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОХОДОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

При проектировании крупногабаритных газоходов необходимо учитывать не только газодинамику процессов внутри конструкции, но и напряженно-деформированное состояние конструкции.
В данном исследовании проводилась оценка напряженно-деформированного состояния крупногабаритного газохода переменного сечения.

I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, A.P. Bibichev,
S.V. Starkov, D.V. Shchenyatsky, D.V. Zimin,
V.Ya. Modorsky

NUMERICAL MODELLING INTENSE THE DEFORMED CONDITION OF GAS FLUES OF VARIABLE SECTION

At design of large-size gas flues it is necessary to consider not only gas dynamics of processes in a design, but also intense the deformed condition of a design.
In this research the assessment intense the deformed condition of the large-size gas flue of variable section was carried out.

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, А.П. Бибичев,
С.В. Старков, Д.В. Щенятский, Д.В. Зимин,
В.Я. Модорский

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ГАЗОХОДОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

В данном исследовании приводятся численные эксперименты по моделированию процесса обледенения в крупногабаритных газоходах переменного сечения.

I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, A.P. Bibichev,
S.V. Starkov, D.V. Shchenyatsky, D.V. Zimin,
V.Ya. Modorsky

NUMERICAL MODELLING OF FROSTING OF GAS FLUES OF VARIABLE SECTION

In this research numerical experiments on modeling of process of frosting are given in large-size gas flues of variable section.

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, Д.В. Щенятский,
Б.Е. Кириевский, Р.В. Бульбович, В.Я. Модорский,
П.В. Писарев

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В СОЕДИНИТЕЛЬНОМ КАНАЛЕ МОДЕЛЬНОГО НАСОСА

В данной работе приводятся результаты численных экспериментов по моделированию колебательных процессов, с использованием трехмерной гидродинамической модели, учитывающей характерные особенности колебательной системы "свободный объем насоса первой ступени - соединительный канал - свободный объем насоса второй ступени".

I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, D.V. Shchenyatsky,
B.E. Kirievsky, R.V. Bulbovich, V.Ya. Modorsky,
P.V. Pisarev

NUMERICAL MODELLING OF OSCILLATORY PROCESSES IN THE CONNECTING CHANNEL OF THE MODEL PUMP

In this work authors are given results of numerical experiments on modeling of oscillatory processes, with use of the three-dimensional hydrodynamic model considering characteristics of oscillatory system "the free volume of the pump of the first step - the connecting channel - the free volume of the pump of the second step".

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, Д.В. Щенятский,
Б.Е. Кириевский, Р.В. Бульбович, В.Я. Модорский,
П.В. Писарев

АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЕРВОЙ СТУПЕНИ МОДЕЛЬНОГО ДВУХСТУПЕНЧАТОГО НАСОСА

Объектом исследований являются каналы наукоемких изделий первой ступени модельного двухступенчатого

I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, D.V. Shchenyatsky,
B.E. Kirievsky, R.V. Bulbovich, V.Ya. Modorsky,
P.V. Pisarev

THE ANALYSIS OF OSCILLATORY PROCESSES IN THE FIRST STEP MODEL TWO-LEVEL PUMP

Object of researches are first step channels of the two-level pump model. The research objective consists in studying of influence of design and technological data on

насоса. Цель исследования заключается в изучении влияния конструктивных и технологических параметров на характеристики потока жидкости в каналах.

characteristics of a stream of liquid in channels.

И.А. Арбузов, А.А. Ташкинов, Д.В. Щенятский, Б.Е. Кириевский, Р.В. Бульбович, В.Я. Модорский, П.В. Писарев

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ВХОДА В СОЕДИНИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЕРВОЙ СТУПЕНИМОДЕЛЬНОГО ДВУХСТУПЕНЧАТОГО НАСОСА

I.A. Arbuzov, A.A. Tashkinov, D.V. Shchenyatsky, B.E. Kirievsky, R.V. Bulbovich, V.Ya. Modorsky, P.V. Pisarev

THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE DESIGN OF THE ENTRANCE TO THE CONNECTING CHANNEL ON OSCILLATORY PROCESSES IN THE FIRST STEP MODEL TWO-LEVEL PUMP

В рамках данной работы произведены численные эксперименты по моделированию потока в соединительном канале с учетом прилегающих свободных объемов. Выявлены особенности появления и усиления колебаний в модельных каналах при варьировании параметров потока и геометрии канала.

Within this work numerical experiments on stream modeling in the connecting channel taking into account adjacent free volumes are made. Features of emergence and strengthening of fluctuations in model channels are revealed at a variation of parameters of a stream and channel geometry.

А.О. Артемова

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ ДВУЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА НА ПОДВИЖНОМ ОСНОВАНИИ

A.O. Artemova

THE TWO-LINK MANIPULATOR WITH MOVING BASE CONTROLLED MOTION MODELING

Ключевые слова: математическое моделирование, управление движением, робототехническая система, двузвенный манипулятор.

Keywords: mathematical modeling, motion control, robotic system, two-link manipulator.

В работе рассматривается задача управления движением двузвенного манипулятора на подвижном основании.

This paper considers a problem of motion control of two-link manipulator with moving base.

В.М. Артюшенко, В.И. Воловач

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ПУТЕЙ И ЕЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

V.M. Artyushenko, V.I. Volovach

ANALYSIS OF OPERATING CONDITIONS OF THE MONITORING SYSTEM OF FILLING OF WAYS AND ITS INFORMATION SUPPORT

Ключевые слова: система автоматизированного регулирования скорости, прицельное торможение, система контроля заполнения путей, парковая тормозная позиция, доплеровский измеритель скорости.

Keywords: system of the automated regulation of speed, aim braking, the monitoring system of filling of ways, park brake position, the Doppler measuring instrument of speed.

Проведен анализ условий работы системы контроля заполнения путей. Сформулирован алгоритм работы системы динамического контроля заполнения путей и предложена структурная схема такой системы. Определены требования к радиотехническому измерителю повышенной точности.

The analysis of operating conditions of the monitoring system of filling of ways is carried out. The algorithm of work of system of dynamic control of filling of ways is formulated and the block diagram of such system is offered. Requirements to the radio engineering measuring instrument of the increased accuracy are defined.

В.А. Атряхин, П.А. Шаманаев

К ВОПРОСУ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ОТКЛОНЯЮЩИМСЯ АРГУМЕНТОМ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

V.A. Atryahin, P.A. Shamanaev

TO THE PROBLEMS OF NUMERICAL SOLUTIONS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DEVIATING ARGUMENTS AND THEIR APPLICATIONS

Ключевые слова: обыкновенные дифференциальные уравнения с запаздывающим аргументом, математическое моделирование, воспроизводство научных кадров.

Keywords: ordinary differential equations with retarded argument, mathematical modeling, the reproduction of scientific staff.

В статье рассматривается математическая модель, описывающая процесс воспроизводства научных кадров на этапе поступления в аспирантуру.

The paper proposes a mathematical model describing the process of reproduction of the scientific staff at the stage of admission to graduate school. The model is a system of ordinary differential equations with retarded

Предлагаемая модель является системой обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Излагается численный алгоритм ее решения. Неизвестные параметры математической модели находятся на основе известных статистических данных за промежуток времени, предшествующий прогнозируемому.

argument. The paper presents a numerical algorithm to solve it. The unknown parameters of the mathematical model are calculated based on the known statistical data for the preceding predictable period of time.

М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов, М.М. Гимадеев, В.Н. Друлис, В.А. Кривошеев, Т.В. Рзаева

К ВОПРОСУ ОБ ОКОНЧАНИИ ФОРМИРОВАНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ПРИ ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ В ВОДЕ

Ключевые слова: высоковольтный электрический разряд в воде; скорость распространения волны давления; интенсивность ударной волны.

В статье представлены результаты исследования процесса формирования и распространения ударных волн при высоковольтном электрическом разряде в воде. Для рассматриваемого диапазона параметров разряда экспериментально определена скорость распространения волны давления и рассчитан момент достижения энергией ударной волны максимального значения.

M.N. Ahmetov, N.D. Ahmetov, M.M. Gimadeev, V.N. Drulis,V.A. Krivosheev, T.V. Rzaeva

ON THE ISSUE OF SHOCK WAVE FORMATION TERMINATION IN HIGH-VOLTAGE ELECTRIC DISCHARGE IN WATER

Keywords: a high-voltage electric discharge in water; a wave of pressure distribution speed; a shock wave intensity.

The paper presents results of shock waves formation and distribution process research in high-voltage electric discharge in water. For a considered discharge parameters range, a wave of pressure distribution speed is experimentally defined and a shock wave energy achievement moment of maximal value is calculated.

Т.И. Балашова, М.А. Степаненко, С.Н. Капранов, В.И. Голованов, В.Ю. Грачев

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ И ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: сеть, архитектура, информационные процессы, оптимизация, покрытие графа, генетический алгоритм.

В работе решается задача построения оптимальной архитектуры информационной сети предприятия с помощью генетических алгоритмов. В качестве критерия оптимальности используется минимальное значение стоимости каналов передачи данных сети. Классифицированы параметры генетических алгоритмов, что позволяет повысить эффективность использования методов эволюционного моделирования.

T.I. Balashova, M.A. Stepanenko, S.N. Kapranov, V.I. Golovanov, V.U. Grachev

MODEL DEVELOPING AND ARCHITECTURE OPTIMIZATION OF ENTERPRISE INFORMATION NETWORK

Keywords: network, architecture, information processes, optimization, covering of the graph, genetic algorithm.

This research solves the problem of optimal information company network architecture building on the base of genetic algorithms. The minimal value of the network data transmission channels is used as an optimal choice criterion. Evolutionary modeling efficiency is increased by the genetic algorithms parameters classification.

Л.В. Безбородов, М.В. Козлов

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ТЕНТОВЫМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ В РОССИИ

Ключевые слова: спортивные сооружения, тентовые конструкции.

Статья посвящена актуальному вопросу применения тентовых ограждающих конструкций для сооружений спортивного назначения: малобюджетных, быстровозводимых, легко трансформирующихся в соответствии с изменением функции и т.д. В статье показана целесообразность и эффективность применения данного типа сооружений. Статья является частью диссертационного исследования, в которой сформулированы и поставлены задачи для дальнейшего исследования.

L.V. Bezborodov, M.V. Kozlov

PROSPECTS OF SPORTS FACILITIES WITH TENT PROTECTING DESIGNS IN RUSSIA

Keywords: sports facilities, fabric structures.

Article is devoted to the application of tent frame structures for sports facilities construction: the low-budget, fast, easily transforming to meet changing functions, etc. The article shows the feasibility and effectiveness of this type of structures. Article is part of the research, which are formulated and set targets for further study.

А.Б. Белиц

ИСКУССТВЕННЫЕ ИММУННЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ОБУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЗВЕШЕННЫХ В-КЛЕТОК

Ключевые слова: искусственные иммунные сети, динамическая взвешенная В-клетка, древовидные клетки.

Работа содержит описание модифицированного алгоритма обучения динамической взвешенной В-клетки, а также принципы построения искусственной иммунной сети на его основе, и её использование для поиска повреждений на фотоснимках костей.

A.B. Belits

ARTIFICIAL IMMUNE NETWORK ON THE BASIS OF MODIFIED ALGORITHM OF LEARNING DYNAMIC WEIGHTED B-CELL

Keywords: artificial immune network, dynamic weighted B-cell, dendritic cell.

This paper presents the description of the modified algorithm of learning dynamic weighted B-cell and also principles of construction of an artificial immune network on its basis. Also it's applied for fault location on the pictures of the bones.

П.В. Борков, А.Д. Корнеев, П.В. Комаров, А.Б. Бондарев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ

Ключевые слова: долговечность, удельная поверхность, наполнитель, полимербетон, коэффициент выносливости.

В работе представлены результаты исследования циклической долговечности композиционных материалов на основе полиэфирной смолы при различных значениях структурообразующих факторов.

P.V. Borkov, A.D. Korneev, P.V. Komarov, A.B. Bondarev

RESEARCH OF CYCLIC DURABILITY POLYMER COMPOSITES BASED ON PARAMETER OF STRUCTURE

Keywords: durability, surface area, filler, polymer concrete, the ratio of endurance.

The paper presents the results of a study of cyclic durability of composite materials based on polyester resin at different structure-factors.

С.В. Бочкарев, Д.К. Елтышев

МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: высоковольтное электротехническое оборудование, критерии оценки приоритета, коэффициенты относительной важности.

Рассматриваются вопросы поддержки принятия качественных решений в процессе ремонтной деятельности применительно к высоковольтному электротехническому оборудованию. Формализованы основные этапы получения точечных оценок, определяющих последовательность вывода в ремонт отдельных единиц оборудования на основе комплексных критериев количественного и качественного характера, в том числе в условиях неопределенности и нечеткости их значений.

S.V. Bochkarev, D.K. Eltyshev

METHODS OF MAKING OPTIMAL DECISIONS WHEN REPAIR OF HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT

Key words: high-voltage electrotechnical equipment, priority evaluation criteria, relative importance factors.

In this article questions of high-quality decision support during the process of high-voltage electrotechnical equipment repair activity are considered. Thereby the basic steps of obtaining point estimates, defining the sequence into the repair of individual equipment, based on complex criteria for qualitative and quantitative are formalized. Also the possibility of obtaining the priority estimations under uncertainty and fuzziness about the values of the evaluation criteria are treated.

А.П. Буйносов, А.М. Кислицын

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДИАМЕТРОВ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, колесная пара, бандаж, диаметр, контроль, устройство.

В статье приведено разработанное устройство для контроля диаметров бандажей без выкатки колесных пар из-под тягового подвижного состава, показаны его преимущества по сравнению с применяемой в настоящее время в локомотивных депо скобы И 461.00.00.

A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn

THE DEVICE FOR CONTROL OF DIAMETERS OF BANDAGES WHEELPAIRS OF THE TRACTION ROLLING STOCK

Key words: the traction rolling stock, wheelpair, bandage, diameter, control, device.

The developed device is given in article for control of diameters of bandages without a vykatka of wheelpairs from under a traction rolling stock, its advantages in comparison with applied in locomotive depots of a buckle I 461.00.00 are shown now.

А.П. Буйносов, Я.А. Мишин
ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОПОРНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ПАССАЖИРСКОГО ЭЛЕКТРОВОЗА
Ключевые слова: электровоз, опорный подшипник, неплановый ремонт, износ, долговечность.

В статье приведены статистические данные по количеству неплановых ремонтов тяговых приводов пассажирских электровозов, рассмотрено практическое применение триботехнического состава для повышения ресурса опорного цилиндрического роликового подшипника.

A.P. Buinosov, Y.A. Mishin
INCREASE OF DURABILITY OF BASIC CYLINDRICAL ROLLER BEARINGS OF THE TRACTION DRIVE OF THE PASSENGER ELECTRIC LOCOMOTIVE
Key words: electric locomotive, basic bearing, not planned repair, wear, durability.

Statistical data on number of not planned repairs of traction drive gears of passenger electric locomotives are provided in article, practical application of tribotekhnichesky structure for increase of a resource of the supporting cylindrical roller bearer is considered.

А.П. Буйносов, И.М. Пышный
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОПОРИСТОВОГО АНТИФРИКЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ
Ключевые слова: промышленный транспорт, электровоз, колесная пара, бандаж, износ, триботехнический состав, обточка, ресурс.

В статье представлены результаты лабораторных и экспериментальных исследований применения разботанного нового триботехнического состава «НАП» на повышение ресурса бандажей до обточки колесных пар электровозов промышленного железнодорожного транспорта.

A.P. Buinosov, I.M. Pishniy
RESULTS OF APPLICATION OF NANOPORISTOVOGO OF THE ANTIFRICTIONAL COVERING ON INCREASE OF THE RESOURCE OF WHEEL COUPLES OF INDUSTRIAL ELECTRIC LOCOMOTIVES
Key words: industrial transport, electric locomotive, wheel couple, bandage, wear, tribotechnical structure, turning, resource.

Results of laboratory and pilot studies of application of razbotanny new tribotechnical structure of «NAP» are presented in article on increase of a resource of bandages before turning of wheel couples of electric locomotives of industrial railway transport.

А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Е.А. Гузенкова
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СВОБОДНОСТЬЮ ПУТИ ПРИ РАБОТЕ МАШИНИСТА ЛОКОМОТИВА В «ОДНО ЛИЦО»
Ключевые слова: локомотив, машинист, помощник, система слежения, разработка.

В статье рассмотрены вопросы обеспечения безопасности движения при внедрении технологии обслуживания локомотива машинистом без помощника, разработана система слежения за свободностью пути и описаны основные ее компоненты.

A.P. Buinosov, K.A. Statsenko, E.V. Bgan, E.A. Guzenkova
DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF TRACKING THE WAY SVOBODNOST AT WORK OF THE OPERATOR OF THE LOCOMOTIVE B «ONE PERSON»
Key words: the locomotive, driver, assistant, tracking system, development.

In article questions of safety of movement are considered in case of implementation of technology of service of the locomotive by the driver without the assistant, the system of tracking a svobodnost of a way is developed and its principal components are described.

А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, Б.С. Юшков
К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ СПОСОБА УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА
Ключевые слова: физико-механические свойства, земляное полотно, лесовозные автомобильные дороги, грунты.

В работе обоснован способ улучшения физико-механических свойств грунтов земляного полотна в условиях Северо-Западного региона.

A.M. Burgonutdinov, O.N. Burmistrova, B.S. Yushkov
TO QUESTION THE VALIDITY OF A WAY TO IMPROVE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SUBGRADE SOIL IN NORTH-WEST REGION
Keywords: physical and mechanical properties, road bed, timber-roads, grounds

We justify the method for improving the physical and mechanical properties of the soil subgrade in the North-West region.

А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, Б.С. Юшков
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ МОРОЗОБОЙНОЙ ТРЕЩИНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
Ключевые слова: морозобойные трещины,

A.M. Burgonutdinov, O.N. Burmistrova, B.S. Yushkov
DEVELOPMENT OF A METHOD OF A CERTAIN WIDTH EDUCATION FROST CRACKS ON THE SURFACE OF FORESTRY ROAD
Keywords: frost cracks, roads, soil moisture, soil freezing.

автомобильные дороги, влажность грунта, замерзание грунта.

В работе представлен метод определения ширины образования морозобойной трещины на поверхности автомобильных дорог.

This paper presents a method for determining the width of the crack formation of frost on the surface of roads.

П.А. Бурцев

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗРЯДНОСТИ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ФАЗНЫХ ДАТЧИКОВ ТОКА НА КОЭФФИЦИЕНТ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ЗАМКНУТЫХ ПО КОНТУРУ ТОКА СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: коэффициент неравномерности вращения, датчик тока, асинхронный электропривод, измерительный канал.

В статье проведен анализ влияния разрядности аналого-цифровых преобразователей измерительных каналов фазных датчиков тока на коэффициент неравномерности вращения асинхронного электродвигателя в замкнутых по контуру тока системах управления. Приведены результаты моделирования и экспериментальных исследований с учетом влияния задержек в измерительном канале.

P.A. Burtsev

ESTIMATION INFLUENCE DIGIT CAPACITY OF ANALOG-DIGITIZERS PHASE CURRENT SENSORS ON COEFFICIENT OF NONUNIFORMITY ROTATION OF THE ASYNCHRONOUS ELECTROMOTOR IN THE CLOSED SOFTWARE TO THE CIRCUIT OF THE CURRENT MANAGEMENT SYSTEMS

Keywords: Coefficient of non-uniformity rotation, the current sensor, the asynchronous electric drive, the measuring channel.

In article is carried out the analysis influence of digit capacity analog-to-digital converters measuring channels of phase current sensors on coefficient of non-uniformity rotation of the asynchronous electromotor in shorted on a circuit a current management systems. Results modeling and experimental researches taking into account influence of time delays in the measuring channel are resulted.

П.А. Бурцев

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИНУСОИДАЛЬНОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯЦИЙ

Ключевые слова: пространственно-векторная широтно-импульсная модуляция, синусоидальная модуляция, силовой инвертор.

В статье проводится сравнительный анализ традиционной синусоидальной и пространственно-векторной модуляции для управления электродвигателями переменного тока. Приведены результаты имитационного моделирования данных типов модуляторов и их влияние на выходной ток инвертора.

P.A. Burtsev

SINGULARITIES OF IMPLEMENTATION OF SINUSOIDAL AND SPACE-VECTOR PULSE-WIDTH MODULATIONS

Keywords: space-vector pulse-width modulation, sinusoidal modulation, the power inverter.

In article the comparative analysis of traditional sinusoidal and space-vector pulse-width modulation *for control of alternating current electromotors is carried out. Simulation results of modeling the given types of modulators and their influence on an output current the inverter are resulted.*

В.И. Воловач

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ НА ФОНЕ ВНУТРИПРИЕМНОГО ГАУССОВСКОГО ШУМА

Ключевые слова: задача обнаружения и различения сигналов, зондирующий сигнал, отношение правдоподобия, пороговое напряжение, критерий Неймана-Пирсона.

Рассмотрены особенности обнаружения и определены вероятности правильного обнаружения сигналов с различными параметрами на фоне внутриприемного гауссовского шума на входе приемников радиотехнических устройств обнаружения ближнего действия. Показано, что решение о достоверности сигнала обнаружения, отраженного от протяженного объекта, на входе приемника выносится путем анализа отношения правдоподобия.

V.I. Volovach

DETERMINATION OF PROBABILISTIC PARAMETERS OF RADIO ENGINEERING DEVICES OF DETECTION AGAINST INTRA RECEPTION GAUSSIAN NOISE

Keywords: *problem of detection and distinction of the signals, probing signal, the credibility relation, threshold tension, Neumann-Pearson's criterion.*

Features of detection are considered and probabilities of the correct detection of signals with various parameters against intra reception Gaussian noise on an entrance of receivers of radio engineering devices of short-range detection are defined. It is shown that the decision on reliability of a signal of the detection reflected from extended object, on an entrance of the receiver is taken out by the analysis of the relation of credibility.

В.В. Воронин, П.М. Поморцев, А.А. Кузнецов, А.А. Мотыко
МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВИДЕОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО ДВУМЕРНОГО МЕТОДА РАЗМНОЖЕНИЯ ОЦЕНОК
Ключевые слова: видеосигнал, адаптация, фильтрация, размножение оценок.

В статье представлен новый адаптивный двумерный метод размножения оценок для фильтрации динамических изображений, который основан на адаптации к яркостным изменениям изображения, то есть определения областей квазистационарности и вычисления оценки в каждой области с помощью аппроксимации поверхностью первого порядка двумерным методом наименьших квадратов. Представлены результаты исследований адаптивного двумерного метода размножения оценок при обработке динамических изображений в условиях ограниченного объема априорных данных о полезной и случайной составляющих.

V.V. Voronin, P.M. Pomortsev, A.A. Kuznetsov, A.A. Motyka
METHOD OF VIDEO SIGNAL RECONSTRUCTION BASED ON TWO-DIMENSIONAL ADAPTIVE METHOD OF MULTIPLE ESTIMATES
Keywords: video, adaptation, filtering, multiple estimates.

The paper presents a new adaptive two-dimensional method of propagation estimates for dynamic filtering of images, which is based on the adaptation luminance change image, that is to identify areas of quasi-stationary and calculating assessment in each area using the first-order approximation of a two-dimensional surface of the least squares method. The results of research of adaptive two-dimensional method of propagation estimates the processing of dynamic images in a limited amount of a priori information on true and random components.

А.С. Выскребенец, В.К. Петров
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ СКОРЛУПЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОРЕХА
Ключевые слова: орехи, дробилка, раскалывание.

В данной статье предлагается решение проблемы получения целого ядра ореха при его переработке для кондитерской и молочной промышленности. Представлена новая разработка дробилки для раскалывания скорлупы различных видов орехов, которая позволит повысить качество вырабатываемой продукции.

A.S. Vyskrebenets, V.K. Petrov
IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR DESTRUCTION OF THE SHELL OF DIFFERENT TYPES OF THE NUTS
Keywords: nuts, crusher, splitting.

In this article the solution of the problem of receiving the whole kernel of a nut is offered at its processing for a candy store and the dairy industry. New development of a crusher for splitting of a shell of different types of nuts which will allow to increase quality of developed production is presented.

А.С. Выскребенец, Г.И. Свердлик, А.Н. Фомин
ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ НА РАБОТУ СИСТЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ
Ключевые слова: Атмосферные условия, проветривание шахт, влагосодержание, капельная жидкость, каплеуловитель.

На основании результатов экспериментальных исследований обоснована необходимость учета атмосферных условий при проектировании систем проветривания шахт, которые обусловливают возможность образования капельной жидкости в вентиляционном трубопроводе.
Проанализированы последствия воздействия капельной жидкости и твердых частиц на элементы системы проветривания шахты. Приведена конструкция каплеуловителя.

A.S. Viskrebenets, G.I. Sverdlik, A.N. Fomin
ATMOSPHERIC CONDITIONS AFFECT ON THE MINE VENTILATION SYSTEMS OPERATION
Keywords: Atmospheric conditions, mines ventilation, liquid drops, drip pan.

The atmospheric conditions should be considered at the mine ventilation systems design. They cause the possibility of liquid drops formation in the ventilation pipe.
The impact of the liquid drops and solid particles on the ventilation system was analyzed. The drip pan design was presented.

С.Н. Голышев, Д.В. Дикамов, С.Н. Ермаков, В.З. Минликаев, С.Н. Семёнов
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУБЫ ГРУЗОНЕСУЩЕЙ ТГ 50/64-100 (НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОЙ) ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБВОДНЁННЫХ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН БЕЗ ИХ ГЛУШЕНИЯ
Ключевые слова: труба грузонесущая ТГ 50/64-100, способ эксплуатации скважины, обводнённая газовая скважина, лифтовая колонна.

S.N. Golyshev, D.V. Dikamov, S.N. Ermakov, V.Z Minlikaev, S.N. Semyonov
USE OF A LOAD-CARRYING PIPE TG 50/64-100 (PUMP-AND-COMPRESSOR TYPE) IN FLOODED GAS WELLS UNDER OPERATING CONDITIONS WITHOUT THEIR CAPPING
Key words: a load-carrying pipe TG 50/64-100, the way of a well operation, a flooded gas well, an oilwell tubing.

В статье приведён способ эксплуатации обводнённых газовых скважин. Способ заключается в спуске в скважину второй лифтовой колонны, в качестве которой используется труба грузонесущая ТГ 50/64-100. Основным преимуществом данного способа является возможность производить спуск трубы ТГ 50/64-100 без глушения скважины.

In the article the way of operation of flooded gas wells is given. The way consists in plunging into a well a second oilwell tubing for which purpose a load-carrying pipe TG 50/64-100 is used. The basic advantage of this way is the possibility of plunging the pipe TG 50/64-100 without capping the well.

А.А. Грабский

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАРЬРНОГО КОМБАЙНА СО ШНЕКОФРЕЗЕРНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ ТИПА MTS (ГЕРМАНИЯ)

Ключевые слова: карьерный комбайн, породный массив, динамическая система, цифровая модель, шнекофрезерный рабочий орган.

Выполнен анализ динамических процессов в рабочей системе карьерного комбайна типа MTS-250 (Германия) при процессе взаимодействия его шнекофрезерного рабочего органа с породным массивом с использованием разработанной цифровой модели.

A.A. Grabsky

APPLICATION OF DIGITAL SIMULATION FOR THE ANALYSIS OF DYNAMIC SYSTEM STABILITY OF A SURFACE MINER WITH THE WORKING BODY OF THE TYPE MTS (GERMANY)

Keywords: surface miner, rock mass, dynamic system, digital model, auger milling working body.

Here is performed the analysis of dynamic processes in a working system of a surface miner type MTS-250 (Germany) in the interaction of its auger milling working body with a rock mass using the developed digital model.

Д.В. Дмитриев, О.В. Андреева

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ АУТЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО ОТПЕЧАТКАМ ПАЛЬЦЕВ

Ключевые слова: папиллярный узор, сравнение изображений, скелетизация.

В работе рассмотрены наиболее часто используемые алгоритмы преобразования информации в процессе аутентификации личности по отпечаткам пальцев. Сформулированы критерии, по совокупности которых, определен оптимальный метод – сравнение отпечатков по особым точкам. С целью оптимизации алгоритма сравнения отпечатков по особым точкам рассмотрен ряд алгоритмов скелетизации изображения. Оптимальным, по затратам вычислительных ресурсов, среди них выбран шаблонный метод скелетизации. Программная реализация указанного алгоритма и его проверка на тестовом наборе изображений подтвердила правильность сделанных предположений.

D.V. Dmitriev, O.V. Andreeva

AN OPTIMAL ALGORITHM FORMING FOR INFORMATION TRANSFER IN THE PROCESS OF INDIVIDUALS AUTHENTICATION BY FINGERPRINTS

Keywords: papillary patterns, image comparing, skeletization.

The number of algorithms which are most often used for information transformation in the case of personality authentication based on fingerprints are considered and characterized. Based on the set of criteria, the optimum method – comparison of prints by special points is selected. A number of the image skeletization algorithms are considered for the purpose of chosen an optimal between them for comparison of prints. Based on the computing resources expenses, the sample method of a skeletization as optimum is chosen among them. Program realization of the specified algorithm and its check on a test set of images validated the made assumptions.

В.В. Дубовсков, И.И. Наумов, О.Г. Толстунов, А.В. Седов, Н.С. Орлова

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ДВУХЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА

Ключевые слова: метод интерполяции, интерполяционная решетка, ошибка интерполяции, двухзвенный механизм.

В данной работе проводится сравнительный анализ методов интерполяции (метода Брезенхема и метода наименьших расстояний) прямолинейной траектории движения рабочего инструмента двухзвенного механизма и исследуется их ошибка. Рассмотрена

V.V. Dubovskov, I.I. Naumov, O.G. Tolstunov, A.V. Sedov, N.S. Orlova

RESEARCH AND COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS LINEAR INTERPOLATION TRAJECTORY OF THE WORKING TOOL OF A TWO-TIER MECHANISM

Keywords: interpolation method, interpolation grid, interpolation error, two-tier mechanism

This paper presents a comparative analysis of interpolation methods (method Brezenhema and method of least distance) linear trajectory of the working tool and a two-tier mechanism also study their error. Considered the kinematics of a two-tier mechanism, and solved the inverse and direct kinematic problem. For

кинематическая схема двухзвенного механизма, а также решена обратная и прямая кинематическая задача. Для проведения сравнительного анализа рассмотрен способ построения интерполяционной решетки механизма.

comparative analysis considered a method for constructing the interpolation grid of mechanism.

А.С. Дубровская

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Ключевые слова: литье по выплавляемым моделям, кристаллизация, монокристаллическая отливка, дендритная структура.

В данной работе исследован процесс изготовления монокристаллических лопаток газотурбинных двигателей. Проведено математическое моделирование затвердевания отливки и формирования дендритной структуры. Выполнена оптимизация скорости выдвижения формы из печи. Таким образом, удалось получать отливку лопатки турбинного двигателя монокристаллической структуры. Результаты исследования были применены на опытном производстве.

A.S. Dubrovskaya

THE NUMERICAL RESEARCH OF TURBINE BLADE SOLIDIFICATION AND STRUCTURE FORMATION DURING CRISTALLIZATION PROCESS

Key words: investment casting, solidification, single crystal casting, grain structure.

In this paper single crystal turbine blade manufacturing process was investigated. The mathematical modeling of cast solidification and grain structure formation was carried out. The velocity of withdrawing the mold assembly through the furnace optimization was made. Thus single crystal casting turbine blade was turned out an immediate success. Results of research have been applied on pilot production.

И.Е. Евдокимов, Г.С. Филиппов, А.А. Яковлев

ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАМЕТНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛА

Ключевые слова: тепловое излучение, ИК излучение, эмиссия, двигательная установка (ДУ) летательный аппарат (ЛА), выходное устройство,ANSYS CFX.

Рассматриваются современные технологии снижения тепловой заметности выходных устройств двигательных установок ЛА. Проведен анализ применяемых в разработке средств проектирования и расчёта, экспериментального оборудования. Показаны возможности удешевления исследований в данной области, состояние работ в области разработки алгоритмов расчёта и экспериментальных методик проверки эмиссии инфракрасного излучения от авиационных воздушно-реактивных двигателей на примере исследования малогабаритного стендового двигателя на базе турбостартера ТС-21.

I.E. Evdokimov, G.S. Filippov, A.A. Yakovlev

THERMAL SIGNATURE REDUCTION PROBLEMS OF AIRCRAFT ENGINES

Key words: thermal radiation, infrared radiation, emission, power unit, aircraft, exhaust unit, ANSYS CFX.

Up-to-date technologies of thermal aircraft exhaust power unit signature reduction problems are considered. The analysis of experimental equipment design and calculation means applied was made. Possibilities of research cost-effectiveness in this field, state of works in the field of calculation algorithm and experimental techniques development of aircraft air-jet engine IR emission check at the example of TC-21 turbine starter-based small-size bench engine are shown.

И.Е. Евдокимов, Г.С. Филиппов, А.А. Яковлев

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ И ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ РАБОТЫ ДОЗВУКОВОГО СОПЛА МАЛОГАБАРИТНОГО ТРД НА БАЗЕ ТУРБОСТАРТЕРА ТС-21

Ключевые слова: выходное устройство, сопло, турбостартер, ТРД, двигательная установка (ДУ), летательный аппарат (ЛА), моделирование, теплообмен, ИК излучение,ANSYS CFX.

Рассматриваются результаты численного исследования работы дозвукового сопла малогабаритного ТРД на базе турбостартера ТС-21. Представлены результаты моделирования в среде ANSYS CFX течения в сопле и теплообмена при различных значениях y^+ на стенке сопла. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными. Выделены направления для дальнейшей работы.

I.E. Evdokimov, G.S. Filippov, A.A. Yakovlev

TC-21 TURBINE-STARTER-BASED GAS-DYNAMIC AND THERMAL CALCULATION OF SUBSONIC SMALL-SIZE TURBOJET ENGINE NOZZLE OPERATION

Key words: exhaust unit, nozzle, turbine starter, turbojet engine, power unit, aircraft, simulation, heat exchange, IR radiation, ANSYS CFX.

The results of TC-21 turbine starter-based numeric research of subsonic small-size turbojet engine operation are considered. The simulation results in ANSYS CFX system of the nozzle flow and heat exchange under different y^+ values on the nozzle walls are given. The results obtained have been compared with experimental data. Trends for future work have been determined.

И.Е. Жигалов, М.И. Озерова

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

Ключевые слова: аналитическая подсистема, принятия решения в условиях неопределенности, космический мониторинг.

В работе обоснована необходимость разработки телекоммуникационной информационной системы, сформированы требования к базам данных, приведены структура и основные функции системы.

I.E. Zhigalov, M.I. Ozerova

DESIGN OF AUTOMATED RISK ASSESSMENT OF NATURAL FIRES

Keywords: analytical framework, decision-making under uncertainty, space monitoring.

The article describes the need for telecommunication information system generated database requirements, see the structure and basic functions of the system.

С.Г. Жуков

ВОЛОКОННО – ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РАДИАЦИИ В ПНЕВМАТИЧЕСКОМ СООРУЖЕНИИ

Ключевые слова: волоконно – оптическая система, радиация, нейтронное излучение, датчик радиации, пневматическое сооружение.

В статье рассматривается волоконно – оптическая система мониторинга радиации установленная в пневматическом сооружении. Система позволяет обнаруживать радиацию и осуществлять включение в действие защиту от нейтронного излучения.

S.G. Zhukov

FIBER - OPTICAL SYSTEM FOR RADIATION MONITORING IN PNEUMATIC STRUCTURES

Key words: fiber - optical system, radiation and neutron radiation, radiation detector, pneumatic structure.

In the article the fiber - optic radiation monitoring system installed in pneumatic structures. The system can detect radiation and the integration in place protection against neutron radiation.

Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, П.В. Евтин, А.С. Елесин

ПЛАНИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ЭЛЕМЕНТАХ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ СЕЗОННОЙ ВАРИАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Ключевые слова: ресурс элементов тормозной системы, сезонные условия эксплуатации, коэффициент корректирования, нормирование ресурса.

В работе предложена методика определения потребности в элементах тормозной системы для транспортных предприятий, которая базируется на закономерности формирования ресурса элементов тормозной системы автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации.

N.S. Zaharov, G.V. Abakumov, P.V. Evtin, A.S. Elesin

REQUIREMENTS PLANNING IN THE BRAKE SYSTEM ELEMENTS ACCORDING TO THE SEASONAL INTENSITY VARIATIONS AND VEHICLE OPERATING CONDITIONS

Key-words: resource of breaking system elements, seasonal conditions of operation, the coefficient of correction, resource's rating.

Demand defining methodology in breaking system elements for transport enterprises, based on the law of formation of the resource of an automobile breaking system subject to the seasonal variation of intensity and conditions of operation is suggested in the paper.

Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, В.Н. Карнаухов, А.С. Елесин

ВИРТУАЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ

Ключевые слова: виртуальный тренажер, диагностирование, тормозная система автомобиля, сезонные условия.

В работе рассматривается процесс создания виртуального тренажера, позволяющего моделировать технологические процессы диагностирования технического состояния тормозных систем автомобиля.

N.S. Zaharov, G.V. Abakumov, V.N. Karnauhov, A.S. Elesin

VIRTUAL SIMULATOR FOR MODELING THE PROCESSES OF THE CAR'S BRAKING SYSTEM FUNCTIONING

Key-words: virtual simulator, diagnosis, automobile breaking system, seasonal conditions.

The process of virtual simulator creation, enabling to design the technological process of diagnosis of technical state of automobile breaking system is descrided in this paper.

Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, П.В. Евтин, А.Е. Мироненко

АНАЛИЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ СЕЗОННЫМИ УСЛОВИЯМИ И ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОБОРУДОВАНИЕМ ЗОНЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

Ключевые слова: сезонные условия, климатические факторы, эксплуатационные факторы, потребление электроэнергии, техническое обслуживание и ремонт автомобилей.

В работе производится анализ причинно-следственных связей сезонных условий и потребления электрической энергии оборудованием зоны технического обслуживания и ремонта подвижного состава автотранспортного предприятия.

N.S. Zaharov, G.V. Abakumov, P.V. Evtin, A.E. Mironenko

ANALYSIS OF THE CAUSE-EFFECT RELATIONSHIP BETWEEN SEASONAL CONDITIONS AND THE AMOUNT OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMED BY MOTOR VEHICLES, INCLUDING ENERGY USED IN THEIR REPAIR AND MAINTENANCE

Key words: seasonal conditions, climatic factors, operational factors, energy consumption, maintenance and repair of motor vehicles.

In this article an analysis of cause and effect relationship between seasonal conditions and electrical energy consumption by maintenance and repair zone equipment of a transport company rolling stock is carried out.

А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов, А.О. Артемов

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ НА ИЗГИБ

Ключевые слова: синтетический минеральные сплавы, прочность при изгибе, анизотропия, излом.

Работа посвящена исследованию деформации и разрушения синтетических минеральных сплавов методом трехточечного изгиба, установлено, что при такой нагрузке в материале возникают как растягивающие, так и сжимающие нагрузки, что подтверждается при изучение изломов методом электронной микроскопии

A.M. Ignatova, M.N. Ignatov, A.O. Artemov

FEATURES DEFORMATION AND FAILURE AT TEST SYNTHETIC MINERAL ALLOYS AND FOLD

Keywords: synthetic mineral alloys, the flexural strength, anisotropy, fracture.

Work is a study of deformation and fracture of synthetic mineral alloys by three-point bending, it is found that under such a load in a material having a tensile and compressive loads, which is confirmed by the study of fracture electron microscopy.

Д.П. Ильященко

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНВЕРТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Ключевые слова: дуговая сварка, тип источника питания, свойства сварных соединений, санитарно-гигиенические характеристики.

В работе рассмотрено влияние типа источника питания (диодного выпрямителя ВД-306 и инвертора Nebula-315) на химический состав, микроструктуру, механические свойства сварных соединений и санитарно-гигиенические характеристики процесса РДС. Установлено, что тип источника питания сварки оказывает значительное влияние на свойства сварных соединений и санитарно-гигиенические характеристики процесса РДС.

D.P. Il’yaschenko

INFLUENCE INVERTER POWER SOURCE ARC WELDING ON THE PROPERTIES OF WELDED JOINTS

Keywords: arc welding power supply type, the properties of welded joints, sanitary characteristics.

The paper considers the influence of type of power source (diode rectifier VD-306 and inverter Nebula-315) on the chemical composition, microstructure, mechanical properties of welded joints and hygienic characteristics of manual arc welding. Found that the type of welding power source has a significant effect on the properties of welded joints and hygienic characteristics of manual arc welding.

И.С. Инжутов, М.С. Барков, П.А. Дмитриев, В.И. Жаданов

РАСЧЕТ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ДВУСКАТНЫХ КЛЕЕДОЩАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ФЕРМ С УЧЕТОМ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ОСЕВЫХ УСИЛИЙ ЧЕРЕЗ УПОРЫ ПЕРЕМЕННОЙ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ

Ключевые слова: двускатные элементы, упоры переменной жесткости, поперечные силы, принцип суперпозиции, погрешность.

I.S. Inzhutov, M.S. Barkov, P.A. Dmitriev, V.I. Zhadanov

CALCULATION OF THE COMPRESSED-BENDABLE DUAL-SLOPE GLUED-BOARD ELEMENTS LARGE-SPAN GIRDER CONSIDERING THE SHEAR FORCES WITH TRANSMISSION OF AXIAL FORCES ACROSS SUPPORTS VARIABLE FLEXURAL STIFFNESS

Keywords: dual-slope elements, supports variable stiffness, shear forces, superposition principle, error.

Обоснована необходимость учета поперечных сил при расчете сжато-изгибаемых элементов в составе конструкций при передаче осевых усилий через упоры переменной изгибной жесткости.

The necessity of taking into account the shear forces in the calculation of compressed-bendable elements in design structures the transmission of axial forces across supports variable flexural stiffness.

Д.С. Казакова

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КРЕДИТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ПЕРЕГРУЗОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: операционный риск, автоматизированная система, сбои, перегрузки, моделирование.

В работе освещается проблема операционных рисков связанных с перебоями в работе автоматизированных банковских систем. Данные риски могут быть минимизированы путем проведения мониторинга и моделирования информационной нагрузки, выявление проблемных участков и прогнозирования сбоев в работе систем. Большое внимание уделено разработке методики обнаружения и прогнозирования сбоев, возникших в результате перегрузок в информационных автоматизированных системах кредитной организации, а так же проектированию программного комплекса для повышения их защищенности и эффективности функционирования.

D.S. Kazakova

IMPROVEMENT OF INFORMATION SECURITY IN FINANCIAL INSTITUTIONS USING SIMULATION AND ANALYSIS OF AUTOMATED COMPUTER SYSTEM OVERLOADS

Keywords: operation risk, automated computer system, malfunction, overloads, computer modeling.

This paper highlights the problem of operation risks of financial institutions relating to overloads of automated computer systems. These risks can be mitigated through the monitoring and simulation of information workload, which leads to forecast of system overload and identification of bottlenecks. The article is focused on development of methodology of identification and forecast of failures, caused by overloads of enterprise automated computer systems and implementation of computer solution for improvement of security and efficiency of these computer systems.

О.А. Коваленко, В.И. Дождиков

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОГО СЛИТКА НА ОБРАЗОВАНИЕ ТРЕЩИН

Ключевые слова: аустенит, диаметр зерна, поверхностные трещины.

Исследовано влияние критических температур превращения в стали и диаметра зерна аустенита на образование поверхностных трещин. Получено выражение для оценки минимального значения относительного сужения в интервале пониженной пластичности.

O.A. Kovalenko, V.I. Dozhdikov

INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE CONTINUOUS CASTING STRUCTURE FORMATION ON THE CRACKING

Keywords: austenite grain size, surface cracks.

The influence of steel critical transformation temperature and diameter of austenite grain on the formation of surface cracks was investigated. Expression is obtained for evaluation of the minimum percentage reduction in the range of low plasticity.

Д.М. Кононов, А.В. Жданов, В.В. Морозов

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ PVD-ПОКРЫТИЙ

Ключевые слова:PVD-покрытие, алмазоподобное покрытие (АПП), получение покрытие, физико-механические свойства, трибологические свойства.

В статье рассматриваются вопросы получения алмазоподобных PVD-покрытий на основе углерода: a-C, a-C:H и MeN/CNx. Приведены результаты экспериментальных исследований их физико-механических и трибологических свойств и даны рекомендации по использованию в промышленности

D.M. Kononov, A.V. Zhdanov, V.V. Morozov

RECEIVING AND RESEARCH OF DIAMONDLIKE PVD-COATING

Keywords: PVD coatings, diamondlike coatings, receiving coatings, physic-mechanical properties, tribological properties.

The article discusses the receiving of diamondlike PVD coatings on the basis of carbon: a-C, a-C:N and $MeNCN_X$. Results of pilot studies of their physic-mechanical and tribological properties are given, recommendations about use in the industry are made.

Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, О.А. Петрова

МЕТОД ГЛОБАЛЬНОЙ НУМЕРАЦИИ УЗЛОВ ТРЁХМЕРНОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНИКИ

E.S. Kornev, L.D. Pavlova, O.A. Petrova

METHOD OF GLOBAL NUMBERING OF NODES OF THREE DIMENSIONAL FINITE ELEMENT MODEL OF ROCK MASS IN SOLVING PROBLEMS OF GEOMECHANICS

Ключевые слова: массив горных пород, трехмерная задача, метод конечных элементов, дискретная модель, нумерация узлов, оперативная память.

В работе представлены результаты поиска оптимального направления глобальной нумерации узлов конечных элементов трёхмерной конечно-элементной модели массива горных пород. Выявлено влияние направления глобальной нумерации узлов на размер оперативной памяти, требуемой для решения трехмерной задачи методом конечных элементов. Предложен метод глобальной нумерации узлов конечных элементов трёхмерной дискретной модели массива горных пород.

Keywords: rock mass, three dimensional problem, finite element method, discrete model, the numbering of nodes, operative memory.

The paper reports the results of research study in order to determine the optimal direction of global numbering of nodes of finite elements of three dimensional finite element model of rock mass. The study revealed the effect of the global numbering of nodes on the operative memory required for the solution of the three dimensional task by finite element method. A method of global numbering of nodes of finite elements by three dimensional models for rock masses has been proposed.

Л.А. Корякин, С.Н. Падалко

МОДЕЛЬ СЕГМЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСНОВНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ключевые слова: модель предприятия, управление, сегментирование, автономное управление сегментами, согласование решений сегментов.

Рассмотрена распределенная система управления производством, выделены и рассмотрены основные процессы, характерные для такого рода систем, включая автономную выработку управленческих решений в структурных подразделениях предприятия, а также согласования этих решений по вертикальным и горизонтальным связям.

L.A. Koryakin, S.N. Padalko

SEGMENTED MANAGEMENT AND CONTROL MODEL OF AEROSPACE INDUSTRY PRODUCTION

Keywords: industrial automation systems, enterprise architectures, enterprise-control system integration, segmentation, autonomous segment management.

This article describes distributed production management and control model is considered, main processes are sorted out and considered which are typical for such systems, including autonomous managerial decision elaboration taken in organization departments and endorsement of such, both horizontally and vertically.

Д.И. Ластина

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ В КАНАДЕ

Ключевые слова: Канада, пассивный дом, энергоэффективность, атриум, эко-архитектура, устойчивое здание.

В статье анализируются принципы и опыт проектирования энергоэффективных зданий в Канаде. Рассматриваются вопросы и проблемы экологического проектирования и их влияние на современную архитектуру Канады.

D.I. Lastina

SOME ISSUES OF DESINING ENERGY EFFICIENT BUILDINGS IN CANADA

Key words: Canada, passive house, energy efficiency, atrium, green architecture, sustainable building.

The article presents the analysis of the principles and experience of the design of energy efficient buildings in Canada. The issues and problems of the energy ecological design and their influence on modern architecture of Canada are also discussed.

Т.В. Леванова, Ю.В. Долгушева

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ ДЛЯ ДВУХКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: алгоритм муравьиной колонии, двухкритериальная оптимизация, целочисленное линейное программирование.

Рассматривается задача планирования производства изделий из отходов меховой и кожевенной промышленности. Для её решения приведена двухкритериальная модель, предложены алгоритмы муравьиной колонии, выполнены экспериментальные исследования.

T.V. Levanova, Y.V. Dolgusheva

DEVELOPMENT OF ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR BI-CRITERIA PROBLEM OF PRODUCTION PLANNING

Keywords: ant colony optimization algorithm, bi-criteria optimization, integer linear programming.

The problem of planning of production from a waste of the fur and tanning industry is considered. A bi-criteria optimization model for this problem is given, an ant colony optimization algorithms are proposed, the experimental studies are carried out.

М.А. Ляховецкий

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА В ИЗУЧЕНИИ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ (МДО)

M.A. Lyakhovetsky

APPLICATIONS THE METHODS OF EXPERIMENTAL DESIGN IN STUDYING THE PROPERTIES OF COATINGS OBTAINAD BY MICROARC OXIDATION (MAO)

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, планирование эксперимента, циркониевые сплавы.

В работе представлены результаты применения методов планирования эксперимента по изучению свойств МДО покрытий, получаемых на циркониевых сплавах. Получены регрессионные зависимости свойств покрытий (плотность, твердость, шероховатость) от режимных параметров МДО процесса. Они хорошо согласуются с эмпирическими представлениями о механизмах роста МДО покрытия и позволяют эффективно оптимизировать процесс для различных сплавов.

Keywords: microarc oxidation, experimental design, zirconium alloys.

The results of applying the methods of experimental design to study the properties of MAO coatings obtained on zirconium alloys are presents. Obtained regression dependences coating properties (density, hardness, roughness) of the operating parameters of MAO process. They are in good agreement with the empirical representation of the mechanism of growth of MAO coating and can efficiently optimize for different zirconium alloys.

Т.Ф. Мамедова, А.А. Ляпина

АСИМПТОТИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРОВСКОГО ТИПА

Ключевые слова: система обыкновенных дифференциальных уравнений, асимптотическая устойчивость по части переменных, модель «хищник-жертва».

В работе приведен алгоритм исследования устойчивости и решения систем нелинейных дифференциальных уравнений. Данный алгоритм реализован для математической модели типа «хищник-жертва».

T.A. Mamedova, A.A. Lyapina

ASYMPTOTIC EQUIVALENCE OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF VOLTERRA TYPE

Key words: system of ordinary differential equations, asymptotic stability with respect to part of variables, «predator-prey» model type.

In studying the stability of the algorithm and for solving systems of nonlinear differential equations. This algorithm is a mathematical model of the «predator-prey».

А.А. Матушкин, В.Г. Нестеренко, В.В. Нестеренко

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ГТД С ЩЕЛЕВЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Ключевые слова: охлаждаемые лопатки турбин, плёночное охлаждение, заградительное охлаждение, щелевое охлаждение.

В статье приведена методика проектирования и конструкция рабочей лопатки турбины высокого давления с «щелевым» охлаждением, а так же особенности проектирования конструкции щелей. Рассмотрены варианты проектирования щелевого охлаждения лопаток турбин с учётом возможности изменения её формы и определяющих геометрических параметров.

A.A. Matushkin, V.G. Nesterenko, V.V. Nesterenko

BLADES HIGH PRESSURE TURBINE GTE WITH SLOT COOLING AND METHODOLOGY OF ITS DESIGN

Keywords: cooled turbine blades, film cooling, cooling barrage, slot cooling.

The article describes the design of the turbine rotor blade pressure to "slot" cooling, and also describes the key design parameters of slot. The developed method of designing channel slot cooling these blades for the changes in the various geometrical parameters.

Е.В. Митряйкина, Т.А. Зайцева

ВНЕДРЕНИЕ СПИРАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ПУТЁМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ

Ключевые слова: пористость, композиционный материал рентгеновская компьютерная томография.

В работе представлено комплексное исследование пористости композиционного материала. Применена рентгеновская компьютерная томография, для определения внутренней структуры материала. Представлена связь между структурой материала и его механическими характеристиками.

E.V. Mitriaikina, T.A. Zaytseva

THE INTRODUCTION OF THE SPIRAL COMPUTED TOMOGRAPHY TO DETERMINE THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE MATERIAL BY EXAMINING ITS INTERNAL STRUCTURE

Keywords: porosity, composite material, X-ray computed tomography

This paper presents complex research of the composite material's porosity. X-ray computed tomography was used to determine the internal structure of the material. The connection between material structure and its mechanical properties was revealed.

Н.Я. Михалев
О СОХРАНЕНИИ УНИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ПОКРЫТИЯ ГЛАВПОЧТАМТА В Г. МОСКВЕ
Ключевые слова: Металлические конструкции, Долговечность конструкции, Надежность, Поверхностная коррозия.

В статье приводятся некоторые сведения о состоянии металлических конструкций здания Главпочтамта в г. Москве, одним из авторов которого был выдающийся российский инженер Шухов В.Г. В текущем году отмечается 100-летний юбилей с начала эксплуатации здания. По результатам обследования выявлены традиционные для подобных конструкций дефекты и повреждения. Для обеспечения сохранности уникальных конструкций исторического здания Главпочтамта рекомендуется наладить постоянный мониторинг их технического состояния и разработать специальные мероприятия для защиты конструкций от прогрессирующего разрушения.

N.Ya. Mihalev
PRESERVATION OF UNIQUE STRUCTURAL STEEL TRANSLUCENT COVER POST OFFICE IN MOSCOW
Metal structures, Reliability, Durability of structures, Surface corrosion.

The article provides some information on the state of the metal structures of the building post office in Moscow, one of the authors of which was an outstanding Russian engineer V.G. Shukhov. This year marks the 100th anniversary of the beginning of the building. According to a survey identified traditional designs such defects and damage. To ensure the preservation of a historic building unique designs Post Office should establish a permanent monitoring of the technical state and develop specific measures to protect structures from accelerated deterioration.

Ж.Г. Могилюк, М.С. Хлыстунов
ФОРМЫ КОЛЕБАНИЙ КОНСОЛИ НА ГАРМОНИКАХ ПРОДОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА
Ключевые слова: стержневые конструкции, динамические нагрузки, основной резонанс, гармоники, частотные характеристики.

В статье на базе закономерностей возбуждения продольных акустических резонансов исследуется механизм распространения и распределения энергии динамических нагрузок в линейных стержневых конструкциях.

J.G. Mogiljuk, M.S. Hlystunov
THE CONSOLE VIBRATIONS FORMS ON A LONGITUDINAL ACOUSTIC RESONANCE HARMONICS
Keywords: rods designs, dynamic loadings, longitudinal waves, basic resonance, harmonics, frequency characteristics.

In article on the longitudinal acoustic resonances excitation laws basis is investigated the mechanism of dynamic loadings energy distribution and distribution in linear rods designs.

О.Г. Морозов, Д.И. Касимова, А.А. Дутов, П.А. Махнев
ДВУХЧАСТОТНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ОПТИЧЕСКИХ МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ ВВОДА-ВЫВОДА
Ключевые слова: ROADM, WSS, мониторинг, двухчастотный зондирующий сигнал, модулятор Маха – Цендера.

Предложен новый метод мониторинга реконфигурируемых оптических мультиплексоров ввода-вывода (ROADM), построенных на основе технологии коммутации спектральных каналов (WSS), заключающийся в их двухчастотном зондировании. Зондирующий сигнал формируется непосредственно в передатчике сети передачи данных (СПД), состоящем из лазера и модулятора Маха-Цендера (ММЦ), в паузе между информационными посылками.

O.G. Morozov, D.I. Kasimova, A.A. Dutov, P.A. Makhnev
TWO-FREQUENCY MONITORING OF RECONFIGURABLE OPTICAL ADD-DROP MULTIPLEXER
Keywords: ROADM; WSS; monitoring; two-frequency probe signal; Mach - Zehnder modulator.

A new method for monitoring of reconfigurable optical add / drop multiplexer (ROADM), built on the switching technology of spectral channels WSS, is proposed on the base of their two-frequency probing. The probe signal is generated directly in the transmitter of the network, which consists of a laser and a Mach-Zehnder modulator, in the pause between information assumptions.

В.С. Наговицын, А.П. Буйносов
СТРУКТУРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
Ключевые слова: тяговый подвижной состав, узел, деталь, диагностика, классификация, структура.

V.S. Nagovitsyn, A.P. Buinosov
STRUCTURAL CLASSIFICATION OF MEANS OF DIAGNOSTICS OF THE TRACTION ROLLING STOCK
Key words: traction rolling stock, knot, detail, preliminary treatment, classification, structure.

В статье приведена структурная классификация технических средств диагностики тягового подвижного состава. Системы, приборы, устройства контроля и диагностики оборудования представляют совокупность средств разного уровня и назначения, позволяющих решать комплекс различных задач для применения при ремонте узлов и деталей тягового подвижного состава.

Structural classification of means of diagnostics of a traction rolling stock is given in article. Systems, devices, control units and diagnostics of the equipment represent set of means of different level and the appointment, allowing to solve a complex of various tasks for application at repair of knots and details of a traction rolling stock.

В.И. Неволин, С.Н. Гергенбергер, М.Б. Меренков

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБАСТНОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Ключевые слова: робастный метод, нелинейная фильтрация, численное моделирование, стохастическая автоматическая накачка.

Рассмотрены вопросы обнаружения робастными методами импульсных сигналов с неизвестными параметрами и для условий действия мощных, аддитивных помех. Они включают выполнение по методу робастной нелинейной фильтрации синтез обобщенной базовой схемы адаптивного робастного фильтра для задач робастного обнаружения и идентификации, методику построения многоканальной структуры, а также численное моделирование при обнаружении и идентификации видео- и радиоимпульсных сигналов.

V.I. Nevolin, S.N. Gergenberger, M.B. Merenkov

SIMULATION OF ROBUST MULTICHANNEL DETECTOR OF PULSE SIGNALS

Keywords: robust methods, nonlinear filtering, numerical modeling

The problems of detecting impulse signals with unknown parameters under the conditions of powerful additive noise are discussed in this article. The execution of synthesis of a generalized basic scheme of the adaptive robust filter for purposes of robust detection and identification by applying the nonlinear filtration method, the technique of designing multichannel structure as well as the numerical simulation while detecting and identifying video and radio impulse signals are included and dealt with in the paper.

В.С. Парлашкевич, А.А. Журавлев

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ СТАНЦИЙ

Ключевые слова: антенно-фидерная станция, элементы, наблюдение, несущая способность.

В статье проанализированы конструкции и работа несущих элементов башен. Выявлены дефекты несущих конструкций башен и установлены причины их появления. На основании наблюдений за натурными конструкциями и расчетов на прогрессирующее обрушение башен Антенно-Фидерных Станций даны рекомендации по повышению несущей способности этих конструкций.

V.S. Parlashkevich, A.A. Zhuravliov

WAYS IMPROVEMENT CARRYING CAPACITY OF THE FULL-SCALE STRUCTURE OF THE RADIO COMMUNICATION TAUERS

Key words: the radio communication towers, elements, observation, carrying capacity.

The article presents the observations of the full-scale structure of the radio communication towers. It analyses the load-bearing elements of towers and gives recommendations to improve their carrying capacity.

А.И. Пашковский

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Ключевые слова: диагностика, марковские модели, статистический метод.

В работе рассматриваются перспективы применения марковских моделей в задачах диагностирования дефектов колесно-моторных блоков тягового рельсового подвижного состава. Показана возможность замены традиционных методов диагностики на систему обслуживания по текущему состоянию, в основе которой лежит скрытая марковская модель.

A.I. Pashkovsky

MARKOV MODELS USING IN TECHNICAL DIAGNOSTICS

Keywords: diagnostics, markov models, statistical method.

This paper presents the prospects of Markov models in problems of diagnosing traction rail vehicles wheeled motor blocks defects. The possibility of replacing the traditional methods of diagnosis in the condition-based maintenance, which is based on hidden Markov model is shown.

О.В. Пищулина, В.Я. Модорский, В.В. Севастьянов

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПРАВКИ ДЛЯ НАМОТКИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

O.V. Pischulina, V.J. Modorsky, V.V. Sevastyanov

NUMERICAL SIMULATION OF TENSE STRAIN STATE OF THE MADREL FOR ROLLING THE CONSTRUCTIONS MADE OF COMPOSITE MATERIALS

Ключевые слова: оправка, физическая модель, математическая модель, вычислительный эксперимент, напряженно-деформированное состояние, анализ результатов.

В работе представлены физическая и математическая модели для оценки напряженно-деформированного состояния оправки. Проведен анализ влияния геометрических характеристик оправки на массовые характеристики конструкции.

The key words: mandrel, physical model, matematical model, computational experiment, the stress-strain state of the mandrel, computational experiment, the analysis of results.

The work presents physical and matematical models for the estimation of the tense strained state of the mandrel and the analysis of the geometrical mandrel characteristics influence on the large constraction characteristics.

А.Д. Проскурин, В.А. Лысов, О.В. Шевченко

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА В РЕАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ВРЕМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ МНОГОПОЗИЦИОННОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Ключевые слова: технологический процесс, технический контроль, вероятность, полная группа событий, формула полной вероятности, формула Бейеса.

В работе обосновано применение вероятностно-статистических методов оценки технологических операций автоматического контроля, представлена вероятностно-статистическая модель многопозиционного автоматического контроля.

Рассмотрен метод получения вероятностной оценки пропуска брака (бракованная деталь, сборочная единица признана годной) на операциях технического контроля в автоматическом режиме с точностью до станка-автомата при однопозиционном и с точностью до контроллера при многопозиционном контроле.

Показана возможность в реальном режиме времени имитировать прохождение детали (сборочной единицы) через операции автоматического контроля.

Научно-практические результаты внедрены в производственный процесс ЗАО «Механический завод», г. Орск, Оренбургская область.

A.D. Proskurin, V.A. Lysov, O.V. Shevchenko

THE PROBABILISTICALLY - STATISTIC EVALUATION OF TECHNOLOGICAL OPERATIONSS MULTIPOINT AUTOMATIC MONITORING IN REAL TIME REGIME

Keywords: workflow, quality check, probability, whole group of doings, formula of total probability, Bejess formula.

The use of the probabilistically- statistic methods of the evaluation of the technological operationss automatic monitoring is justified, the probabilistically- statistic mould of the multipoint automatic monitoring is presented in this work.

The method of the receiving of probabilistic evaluation of defects admission (faulty part, subunit is good) on quality checks operations in automatic mode with precision up to automatic at single-station and with precision up to controller at multipoint monitoring is viewed.

The potentiality in real time regime to imitate the passing of material (subunit) through the automatic monitorings operations is revealed.

The scientifically-practical data are applied in industrial process of the Closed (joint-stock) company «Mechanical plant», Orsk, Orenburg region.

А.А. Пятницкий, М.А. Пыльцин, Н.С. Прохорова, С.А. Крутик, А.М. Галушко

УСИЛЕНИЕ СЖАТЫХ СТАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ

Ключевые слова: усиление сжатых металлических элементов, обойма.

В статье предлагается способ усиления сжато-изогнутых элементов. Приводятся примеры решения конструктивных схем усиления. Подробно рассматривается использование данного способа усиления при реконструкции здания, построенного в начале 20 в.

A.A. Pyatnitsky, M.A. Pyl'tsyn, N.S. Prokhorova, S.A. Krutik, A.M. Galushko

ENHANCING COMPRESSED STEEL RODS WITHOUT UNLOADING

Keywords: strengthening of the compressed metal elements, a holder.

In article the way of strengthening high-loaded is offered is compressed - the bent elements. Examples of the solution of constructive schemes of strengthenings are given. Use of this way of strengthening at reconstruction of the building, constructed at the beginning of the 20th eyelid is in detail considered.

О.В. Романченко

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ: ЗНАЧЕНИЕ, ФУНКЦИИ И ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: управление строительством; экономика строительства; организация геодезических работ; управление предприятием; строительная геодезия.

O.V. Romanchenko

GEODETIC ENTERPRISE IN THE BUILDING INDUSTRY: VALUE, FUNCTION AND MANAGEMENT ACTIVITIES

Keywords: construction management; construction economy; organization of geodetic works; enterprise management; construction geodesy.

Рассмотрены современные подходы к определению значения геодезических работ в организации строительства гражданских и промышленных объектов. Выделены направления развития геодезических работ, рассмотрения типы геодезических предприятий. Выявлены особенности управления геодезическим предприятием на современном этапе строительного производства. Определены перспективы развития и основные задачи геодезических предприятий.

The current organizational and economic approaches to identifying the place and role of geodetic works in the organization of civil and industrial construction have been discussed. The major lines of development of geodetic works have been defined that are expected to give it a cutting edge. We have sought to identify the features of the management of geodetic enterprises at the current point in time. The perspectives of the development and major challenges facing geodetic enterprises have been determined.

О.И. Рубцов, А.Ю. Бакалов, Д.И. Кобецкий
КОНСОЛИДАЦИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ИМЕРЕТИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕХНОЛОГИИ «ПЕСКОНАСОС»
Ключевые слова: Механика грунтов, модуль деформации, консолидация, песконасос, усиление грунтов основания.

O.I. Rubtsov, A.Yu. Bakalov, D.I. Kobetsky
CONSOLIDATION OF SOFT GROUNDS IN THE FOUNDATION OF THE EMBANKMENT OF ENGINEERING PROTECTION OF THE IMERET LOWLAND WITH THE USE OF THE "PESKONASOS" TECHNOLOGY
Keywords: soil mechanics, deformation modulus, consolidation, peskonasos, increased soil foundation.

Приведены результаты штамповых испытаний слабых грунтов основания, закрепленных по технологии «Песконасос». Показана эффективность применения данной технологии для ускорения процессов консолидации.

The article describes the results of the die tests for the soft foundation grounds, grouted through the "Peskonasos" technology. It shows the efficiency of the aforesaid technology for the improvement of the consolidation processes.

И.В. Рубцов, А.М. Галушко, Е.Д. Лавриненко
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА НА ЖИЛЫЕ КИРПИЧНЫЕ ЗДАНИЯ, НА ПРИМЕРЕ ЗДАНИЯ ОБЩЕЖИТИЯ В Г.САМАРЕ
Ключевые слова: Вибрационное воздействие, виброскорость, виброускорение, мониторинг.

I.V. Rubtsov, A.M. Galushko, E.D. Lavrinenko
STUDIES OF THE VIBRATION EFFECTS OF THE UNDERGROUND ON RESIDENTIAL BRICK BUILDINGS AT THE EXAMPLE OF A HOSTEL BUILDING IN SAMARA
The article describes the on-location experiments with the vibration effects on a residential brick building. The authors studied the vibration effect on both the building itself (mechanical effects) and the people in the building (sanitary requirements).

В статье представлены результаты натурных экспериментов по определению вибрационного воздействия на жилое кирпичное здание, произведен анализ его влияния как на само здание (механическое воздействие), так и на находящихся в нем людей (из санитарно - гигиенических требований).

И.Е. Сахаров, А.Е. Мозохин
ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ РАБОТЕ С ХРАНИЛИЩАМИ ДАННЫХ
Ключевые слова: оценка, тест производительности КИС, коэффициент загрузки, коэффициент масштабирования, математическая модель КИС.

I.E. Sakhorov, A.E. Mozokhin
EVALUATE THE PERFORMANCE OF CORPORATE INFORMATION SYSTEMS (CIS) AND DATA WAREHOUSING
Keywords: assessment, performance test CIS, the load factor, the scaling factor, the mathematical model of CIS.

В работе описаны современные методы оценки производительности КИС и представлена разработанная математическая модель с учетом интенсивности потока информации и коэффициента загрузки узлов КИС.

The paper describes the current methods for evaluating the performance of the corporate information systems and developed mathematical model is presented with the information density and load factor nodes CIS.

И.М. Селянцев
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КОНТУРА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА РАБОТУ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ
Ключевые слова: ЛСТК, чистое кручение, стеснённое кручение.

I.M. Selyantsev
EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CROSS-SECTION SHAPE CHANGING ON WORK OF THIN WALLED COLD-FORMED STEEL BEAM
Keywords: cold formed beams, uniform torsion, warp torsion.

В докладе приводятся результаты эксперимента на стесненное кручение тонкостенных стержней открытого профиля компании VoestAlpine. Анализируется влияние деформации контура поперечного сечения на работу указанных стержней. Даются практические рекомендации по типам закрепления стержней. Определяется диапазон стержней $kl = \sqrt{\frac{G\,Jt}{E\,Jw}}\,l$, *в котором не учёт факта деформации контура поперечного сечения стержня, приводит к допустимой, с инженерной точки зрения, погрешности вычисления напряжений и углов поворота сечения.*

This report presents the warp torsion experiment results. Thin walled C section beams were analyzed. Impact of beam cross section deformation on beam torsion angles was analyzed. Estimated difference between Vlasov's theoretical warp torsion angles and experimental results. Estimated difference between Vlasov's theoretical Bimoment values and experimental results. Different types of beam fastenings were evaluated. C shaped cold-formed beams fixed on both sides on lower flange, lower plus upper flanges, lower flange plus wall, lower plus upper flanges plus wall and only on wall were investigated. Practical range $kl = \sqrt{\frac{G\,Jt}{E\,Jw}}\,l$ *(Jt- torsion rigidity, Jw - warping rigidity) where difference between theoretical and experimental results is acceptable is defined.*

Е.А. Семенищев, Д.И. Тазетдинова, А.В. Писарев, С.В. Жук, Д.А. Тарасов

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ВЫСОКОДЕТАЛИЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Ключевые слова: изображения, детализация, масштаб.

В работе предложены способы определения областей с высокой детализацией на изображении. Приведён алгоритм работы полученных способов. Показана эффективность определения высокодетелизированных областей, представлены результаты влияния изменения масштаба детализированного участка к его определению.

E.A. Semenishchev, D.I. Tazetdinova, A.V. Pisarev, S.V. Juk, D.A. Tarasov

RESEARCH AND DEVELOPMENT METHODS OF DETECTION HIGHLY DETAILED OBJECTS IN THE IMAGE

Keywords: image, detail, scale.

This paper provides methods for identifying areas with high detail in the image. An algorithm derived methods. The efficiency determination areas height image detail, the results influence the zoom detailed plot to its definition.

А.А. Серебренников

СПЕЦИФИКА НАГРУЗОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В ВИБРАЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЯХ

Ключевые слова: подшипники качения, вибрационные смесители, вибровозбудители, сила инерции.

В работе рассматривается вопрос определения нагрузок подшипников качения в вибрационных смесителях. В отличие от подшипников стационарных механизмов в вибрационном механизме подшипник совершает колебания, и центр тяжести его перемещается по круговой, эллиптической или по линейной траектории. При этом возникают дополнительные силы инерции, которые оказывают влияние на работу отдельных его элементов. В совокупности дополнительные нагрузки создают неблагоприятные условия для эксплуатации вибровозбудителей и требуют при проектировании узлов подшипников выполнения специфических требований.

A.A. Serebrennikov

SPECIFIC LOADS OF ROLLING BEARINGS IN VIBRATING MIXER

Keywords: rolling, vibrating mixers, vibration exciters, the inertial force.

The paper deals with determining the loads of rolling bearings in vibrating mixers. In contrast to the stationary bearing mechanisms in bearing vibration mechanism vibrates, and the center of gravity of his moves on a circular, elliptical or linear path. In this case, additional forces of inertia, which influenced the work of its individual elements. Together, the additional loads create unfavorable conditions for the operation of exciters and require the design of bearing units fulfill specific requirements.

А.А. Серебренников, З.Р. Хакимов

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОДВИЖЕНИЮ РАБОЧЕГО ОРГАНА БЕСТРАНШЕЙНОГО ТРУБОУКЛАДЧИКА

Ключевые слова: бестраншейный трубоукладчик, рабочий орган трубоукладчика, усилие резания, нагрузка на рабочий орган.

A.A. Serebrennikov, Z.R. Hakimov

METHODS AND RESULTS FOR DETERMINING THE RESISTANCE OF FORCE PROMOTION OF THE BODY TRENCHLESS PIPE LAYER

Keywords: trenchless pipe layer, working organ pipe layer, cutting force, the load on the working body.

The article deals with the question of determining the actual load on the working body of the machine with

В статье рассматривается вопрос определения нагрузок на рабочий орган машины при укладке труб бестраншейным методом. Предложена математическая модель изучаемого процесса. На основе эксперимента определено усилие резания, нагрузки в элементах металлоконструкции машин, перемещения и скорости. Полученные результаты можно использовать при проектировании рабочих органов трубоукладчиков.

trenchless pipe laying. A mathematical model of the process. On the basis of the experiment is defined cutting pressure, load cell metal machines, movement and speed. The results can be used in the design of pipe-laying work.

А.Н. Серёдкин

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ ПОСТАВЩИКОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ КООПЕРАТИВАМИ

Ключевые слова: автоматизация, управление, сельскохозяйственная кооперация.

В статье дано описание информационной системы оценки поставщиков в системе управления сельскохозяйственными кооперативами. Разработаны оригинальные методика оценки поставщиков и база данных.

A.N. Seredkin

ASSESSMENT AUTOMATION OF SUPPLIERS IN THE CONTROL SYSTEM OF THE AGRICULTURAL CONSUMER COOPERATIVES

The Keywords: automation, management, agricultural cooperation

The article describes the information system of vendor evaluation in the management of agricultural cooperatives. The original technique of suppliers and database assessment are developed.

К.А. Смотрин

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕНОРМИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: дефект изоляции, частичные разряды, диагностирование высоковольтного электрооборудования.

В статье представлены результаты исследования возможности применения ненормируемого параметра – напряжения возникновения частичных разрядов для оценки состояния изоляции высоковольтного электрооборудования. Дано решение задачи по его нахождению в неоднородном электрическом поле, а также приведены результаты математического моделирования.

K.A. Smotrin

ABOUT USE OF NONNORMABLE PARAMETERS OF PARTIAL DISCHARGES FOR DIAGNOSING ISOLATION OF HIGH VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT

Keywords: defect of isolation, partial discharges, high voltage equipment diagnosing.

The article deals with matters related to research of possibility of use nonnormable parameter of partial discharges for diagnosing insulation of high voltage electrical equipment on example of the partial discharges inception voltage.

В.А. Столярчук

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ CAE - ПРИЛОЖЕНИЙ

Ключевые слова: CAE-система, алгоритмы метода конечных элементов, технология разреженных матриц.

В работе представлено краткое описание открытой учебной программной системы для подготовки разработчиков CAE – систем.

V.A. Stolyarchuk

PROGRAM SYSTEM FOR TRAINING OF DEVELOPERS OF CAE-APPLICATIONS

Keywords: CAE, Finite Element Procedures, spars matrix technology.

The objective of work is to acquaint the developers of CAE applications with open CAE-system.

Д.А. Таджиев

ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ГОЛОНОМНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРИВОДОВ

Ключевые слова: математическое моделирование, голономная механическая система, привод, стабилизация, функция Ляпунова.

На практике реализация управляющих сил и моментов, действующих на механическую систему,

D.A. Tadzhiev

ON THE HOLONOMIC MECHANICAL SYSTEM MOTION CONTROL TO THE DYNAMIC DRIVE

Keywords: mathematical modeling, holonomic mechanical system, drive, stabilization, Lyapunov function.

In practice, the implementation of the operating forces and moments acting on the mechanical system is done by the actuators, including drives. We consider the solution

происходит при помощи исполнительных механизмов, в том числе приводов. В работе рассматривается решение задачи об управлении такой системой. Обосновывается построение непрерывного и релейного управлений приводами, обеспечивающих стабилизацию программного движения управляемой голономной механической системы. Решение этой задачи широко применимо для моделирования управляемого движения различных робототехнических систем. В качестве примера рассматривается классическая задача об управлении движением математического маятника при помощи привода.

of the problem of the management of such a system. Justified the construction of continuous and relay controls the drive, enabling the stabilization of programmed motion controlled holonomic mechanical system. The solution to this problem is widely applicable to model the movement of various controlled robotic systems. As an example, consider the classical problem of the motion control of a simple pendulum with the drive.

О.П. Тимофеева, Э.С. Соколова, Н.С. Иконникова

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДВУМЕРНОЙ ОРТОГОНАЛЬНОЙ УПАКОВКИ

Ключевые слова: генетический алгоритм, методы оптимизации, двумерная упаковка, настройка генетического алгоритма, декодеры.

Описан принцип решения двумерной задачи ортогональной упаковки, основанный на генетическом алгоритме. В работе для построения модели задачи используются различные декодеры, проводится сравнительный анализ работы алгоритма при различных его параметрах с целью получения оптимального набора параметров для конкретной задачи.

O.P. Timofeeva, E.S. Sokolova, N.S. Ikonnikova

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM TO OPTIMIZATION OF TWO-DIMENSIONAL ORTHOGONAL PACKING

Keywords: genetic algorithm, two-dimensional packing, optimization methods, genetic algorithm adjustment, decoders.

In this article the principle of solving the problem of two-dimensional orthogonal packing, based on genetic algorithm, is given. Different decoders are used to build a model of the problem, a determination of the parameters is carried out to automatically adjust the genetic algorithm.

А.Р. Туснин

ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОСТЕННОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ РАСЧЁТЕ ПРОГОНА ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

Ключевые слова: тонкостенный стержень, кручение, депланация, бимомент, секториальные напряжения.

В статье представлены результаты тестового расчёта фахверкового прогона с применение стержневого тонкостенного конечного элемента. Полученные результаты подтверждают возможность применения для расчёта стержней со сложными тонкостенными сечениями разработанной автором численной методики.

A.R. Tusnin

USE THIN-WALLED FINITE ELEMENT IN CALCULATING CHASE AN OPEN PROFILE

Keywords: thin-walled shaft, twisting, warping, bimoment, sectorial voltage

The paper presents the results of test runs with half-timbered use thin-rod end element. The results confirm the possibility of applying for the calculation of the rods with complex thin-walled section of the author of the numerical techniques.

А.Ю. Ушаков, М.Г. Ванюшенков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕЙСТВИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СЖИМАЮЩИХ УСИЛИЙ НА НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗОГНУТОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНКИ

Ключевые слова: соотношение обобщенной ортогональности, метод начальных функций, граничные условия, упругая тонкая пластинка, критическое значение продольной силы, дифференциальное уравнение.

Рассмотрены примеры расчета тонкой упругой пластинки, сжатой в одном и двух направлениях равномерно распределенными нагрузками N_1 и N_2 и находящейся под действием поперечной равномерно-распределенной нагрузкой.

A.Yu. Ushakov, M.G. Vanyushenkov

THE INFLUENCE OF THE LONGITUDINAL COMPRESSIVE FORCES ON THE STRESS-STRAIN STATE OF A CURVED RECTANGULAR PLATE

Keywords: ratio of the generalized orthogonality, method of initial functions, boundary conditions, elastic thin plate, critical value of the longitudinal force, differential equation.

The example of calculation of a thin elastic plate, compressed in one of two directions evenly distributed loads N_1 and N_2 and under a transverse uniformly distributed load.
Analytical solutions of the method of initial functions, whose eigenfunctions exactly satisfy the homogeneous boundary conditions on two opposite sides of the plate (simple support).

Получено аналитические решения методом начальных функций, собственные функции которого точно удовлетворяют однородным граничным условиям на двух противоположных сторонах пластинки (шарнирное опирание).
Для нахождения произвольных постоянных используется полученное авторами соотношение обобщенной ортогональности собственных функций. Приведены примеры расчета пластинок с различными условиями закрепления сторон.

To find the arbitrary constants of the author used the ratio of the generalized orthogonality of functions. Examples of calculation of plates with different conditions of fixing of the parties are given.

М.В. Фуфачева, А.Д. Сиразетдинова
МЕТОДИКА ВЫБОРА СОБСТВЕННИКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ С ВАГОНОПОТОКАМИ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ
Ключевые слова: вагонопотоки, операторы, подвижной состав, пути необщего пользования.

В работе представлены результаты изучения изменений в работе путей необщего пользования после передачи подвижного состава из собственности ОАО «Российские железные дороги» в собственность операторских компаний

M.V. Fufacheva, A.D. Sirazetdinova
THE ROLLING STOCK OWNER CHOICE METHODS FOR EFFICIENT WORK WITH NON-PUBLIC RAILWAY TRACK OF CAR TRAFFIC VOLUME
Keywords: car traffic volume, operators, rolling stock, non-public railway track.

The paper deliver the study results of non-public railway track work changes since the rolling stock conveyance of property from JSC "Russian Railways" to the property of operators' companies.

М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ МНОГОЗВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Ключевые слова: многозвенные стержневые конструкции, динамические нагрузки, волновой перенос, акустический импеданс, акустическая энергия, закон сохранения, мнимая составляющая, активная составляющая, закон Кирхгофа.

В статье на базе закона сохранения акустической энергии исследуется механизм волнового распространения и распределения энергии динамических нагрузок в линейных многозвенных стержневых конструкциях.

M.S. Hlystunov, J.G. Mogiljuk
THE ACOUSTIC ENERGY PRESERVATION LAW FOR THE LINEAR ITERATIVE ROD DESIGNS
Keywords: iterative rod designs, dynamic loadings, wave carrying, acoustic impedance, acoustic energy, preservation law, imaginary component, active component, Kirhgof law.

In article on the acoustic energy preservation law basis is investigated the mechanism of dynamic loadings wave energy distribution in linear iterative rod designs.

М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Ключевые слова: стержневые конструкции, динамические нагрузки, акустическая энергия, механизм волнового переноса, закон сохранения.

В статье на базе закона сохранения акустической энергии исследуется механизм распространения и распределения энергии динамических нагрузок в линейных стержневых конструкциях.

M.S. Hlystunov, Z.G. Mogiljuk
THE ACOUSTIC ENERGY PRESERVATION LAW FOR THE RODS LINEAR DESIGNS
Keywords: rod designs, dynamic loadings, acoustic energy, wave carrying, mechanism, preservation law.

In article on the acoustic energy preservation law basis is investigated the mechanism of dynamic loadings energy distribution in linear rod designs.

В.П. Хранилов, Д.А. Ляхманов, Ю.В. Соколова
ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АНАЛИЗОМ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ
Ключевые слова: спектральный анализ, временной ряд, коэффициент вариабельности.

В работе решается задача оптимизации параметров (ширины скользящего окна и интервала разбиения) спектрального метода прогнозирования временных

V.P. Hranilov, D.A. Lyakhmanov, Y.V. Sokolova
OPTIMIZATION OF THE METHOD OF FORECASTING BASED ON SPECTRAL COMPONENT ANALYSIS OF TIME SERIES
Keywords: spectral analysis, time series, the coefficient of variation.

This paper presents the solution for optimization of parameters (the width of the sliding window and the partitioning interval) in the spectral method of time

рядов с нестабильной динамикой и частой сменой тенденций развития с целью повышения точности прогноза. В качестве критерия используется коэффициент вариабельности, описывающий степень неупорядоченности временного ряда.

series prediction with unstable dynamics and frequent changing trends in order to improve the accuracy of the forecast. As a criterion the coefficient of variation is used, which is describing the level of disorder of the time series.

В.В. Шведенко, О.В. Щекочихин, В.А. Ипатов
АГРЕГИРОВАНИЕ ДАННЫХ В ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СУБД «COBRA++»
Ключевые слова: хранилище данных, управление процессами, интегрированные системы.

V.V. Shvedenko, O.V. Shekochihin, V.A. Ipatov
DATA AGGREGATION IN A PROCESS-ORIENTED DBMS «COBRA++»
Keywords: data warehouse management, process management, integrated systems.

В работе представлены результаты исследований в области построения архитектуры объектно-ориентированных хранилищ данных, которые встраиваются в систему управления процессами предприятия. Предлагается объединение функций накопления данных и принятие на их основе управленческих решений в интегрированной программной среде.

In the article we present the results of research in the field of building architecture in object-oriented data warehouses, which are embedded in a enterprise process control system. We propose a merge of the functions of data accumulation and on its basis an adoption of management decisions in an integrated software environment.

М.М. Шихов
МАШИНА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА С ОБОБЩЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИМВОЛОВ И ВЫЧИСЛЕНИЯМИ НА ПОДСТАНОВКАХ
Ключевые слова: параллельный логический вывод, логика предикатов, вычисления, машина логического вывода.

M.M. Shihov
THE PARALLEL INFERENCE MACHINE WITH FUNCTIONAL SUMBOLS GENERALISATION AND CALCULATIONS SUPPORT
Keywords: parallel logical conclusion, predicate logic, calculations, inference machine.

В работе предлагается машина параллельного логического вывода на знаниях, представленных формулами исчисления предикатов первого порядка. Определяется место машины в составе системы логического вывода и приводится обобщённая структура машины. Описываются особенности используемого машиной метода вывода, а также синтаксиса и семантики машинного языка. Раскрывается структура и алгоритм работы блока обобщения функциональных символов и вычислений. Приводится пример вывода и даётся оценка машины.

The paper proposes a machine for parallel inference on the knowledge represented by the formulas of first order predicate calculus. A place of the machine in the structure of inference system is defined. Features of inference method and machine language syntax and semantics are described. A structure and algorithm of the functional symbols generalization and calculations block are provided. An inference example and the machine estimation are suggested.

А.Н. Шуваев, С.П. Санников, Д.В. Кубасов
ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОЙ ГЕОРЕШЕТКИ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В БЕТОННОЙ ПЛИТЕ
Ключевые слова: мелкоблочное основание, температурные напряжения, объемная георешетка.

A.N. Shuvaev, S.P. Sannikov, D.V. Kubasov
EFFECT OF VOLUME GEOGRIDS THERMAL STRESSES IN THE CONCRETE SLAB
Keywords: building block foundation, thermal stresses, the volume geogrid.

В работе предложен расчет температурных напряжений мелкоблочного цементобетонного основания.

In this work the calculation of thermal stresses building block cement concrete base.

П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов, Ю.Б. Лаврентьев
ОБЗОР ВЯЗКОУПРУГИХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ
Ключевые слова: полимер, реологическая модель, вязкоупругая жидкость, экструзия.

P.P. Yurigin, I.S. Gudanov, G.M. Goncharov, A.A. Lomov, Y.B. Lavrentiev
OVERVIEW OF VISCOELASTIC RHEOLOGICAL MODELS OF POLYMER FLOWS
Keywords: polymer, rheological model, viscoelastic fluid, extrusion.

Представлен обзор основных вязкоупругих моделей течения полимерных материалов, применяемых в современной реологии, описаны их преимущества и недостатки применительно к области экструзии полимерных материалов.

Presented overview of main viscoelastic models of polymer material flows that used in modern rheology, described their main advantages and drawbacks as well as spheres of applications.

В.И. Юсенхан

ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГИДРОСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАШИН

Ключевые слова: гидросистемы, надежность, зазор сопряжения, гидрожидкость.

Обоснована оценка работоспособности распределителей на надежность и функционирование гидросистемы управления лесных машин - определения величины утечки через сопряжение в собранном состоянии при нейтральном положение плунжера золотника (запертое состояние распределителя), по величине которой расчетным методом можно определить фактический (средний по сопряжению) зазор S этого сопряжения. Разработан новый способ диагностирования по критерию турбулентного режима течения жидкости по длине прохода "l" сопряжения.

V.I. Yusenhan

RATIONALE EVALUATE YOUR DISTRIBUTOR TO RELIABILITY AND PERFORMANCE CONTROL HYDRAULIC FOREST MACHINES

Keywords: hydraulic, reliability, gap coupling, hydraulic fluid.

Based assessment of the performance of distributors to nadzhenost hydraulic control and operation of forest machinery - Determination of the leakage through the coupling in the assembled state, the neutral plunger valve (locked state of the distributor), the largest of which can be determined by calculation the actual (average conjugation) clearance of S pairing. A new method of diagnosing by turbulent flow of fluid along the length of the passage of "l" pairing.

В.И. Юсенхан

К ВОПРОСУ КРИТИЧНОСТИ ОТКАЗОВ ГИДРОЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Ключевые слова: гидропривод, критичность отказов, коэффициент отказа, гидросистема.

Исследована качественная оценка возникающих отказов гидроэлементов гидропривода. Рассчитан показатель критичности ΣA_i идентичный для основных гидроэлементов с показателем функциональной надежности гидроэлементов.

V.I. Yusenhan

FAILURE TO CRITICALITY HYDRAULIC HYDRAULIC FOREST MACHINES

Keywords: hydraulic, critical failures, the failure rate, hydraulic system.

The qualitative assessment of the failures occurred hydraulic hydraulic. The calculated values for the criticality ΣAi identical with the main hydraulic parameters of the functional reliability of the hydraulic elements.

Б.С. Юшков, А.С. Сергеев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАТУХАЮЩЕЙ ПОЛЗУЧЕСТИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ КОМПРЕССИИ

Ключевые слова: испытания, грунт, ползучесть, разгрузка, влажность, плотность, суглинок, глина, песок, модуль.

Разработана методика испытаний грунтов в компрессионных приборах. Представлены результаты проведенных экспериментов. Обусловлены расчетные характеристики песчаных и глинистых грунтов, позволяющие судить о степени их ползучести.

B.S. Yushkov, A.S. Sergeyev

EXPERIMENTAL STUDIES TRANSIENT CREEP SOIL IN COMPRESSION

Keywords: testing, soil creep, unloading, moisture, density, loam, clay, sand, module.

This paper presents the results of the experiments, obtained the design characteristics of sand and clay soils, to judge the degree of creep. To perform the experiments, developed a method of soil testing in compression devices. The main difference of the proposed method is to conduct the tests and analyzing the results.

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 редакционных 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 2012

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 20.12.2012 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

22,7 усл.печ.л. 26,1 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 898.

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»