

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№5 2014

Направления:

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Казань

2014

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №5 2014г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – 392 с.

ISSN 2079-5920

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

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

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

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

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

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

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

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, В.К. Половняк</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ И ИНГИБИТОРНОГО ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ МОНО-, ТЕТРА-, ПЕНТАБОРАТ НАТРИЯ – ЭТИЛЕНДИАМИН – ВОДА ПРИ 25°C.	13
--	----

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>П.С. Андреев, Ю.Г. Коноплев, О.А. Саченков, Р.Ф. Хасанов, И.В. Яшина</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОТАЦИОННОЙ ФЛЕКСИОННОЙ ОСТЕОТОМИИ	18
<i>А.Ю. Горохов, А.И. Хандарзянова</i> СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОПОРНОЙ СТАНИНЫ САМОХОДНОГО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУДИЯ	22
<i>П.И. Дергунов</i> МОЛЕКУЛЯРНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АДсорбент-АДсорбат ДЛЯ ОПИСАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ	26
<i>П.И. Дергунов</i> ТЕОРИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АДсорбента С УЧЕТОМ ЕГО ДЕФОРМАЦИИ	30
<i>В.В. Дружинин, А.А. Лазарев</i> ДОКАЗАТЕЛЬСТВО И РАСШИРЕНИЕ ГИПОТЕЗЫ ЛЕЖАНДРА В ТЕОРИИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ	34
<i>Р.А. Кастро, Е.Н. Лушин, Е.А. Пазников, В.Н. Пак, П.В. Петреков</i> ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-N-МЕТИЛАЛЛИЛ-5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛА	37
<i>Д.И. Ливеровский, С.П. Шевырев</i> ЧИСЛЕННОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ТЯЖЕЛОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ	41
<i>Е.А. Нащинцев</i> РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИИ КРЕНА ВЫСОТНОГО ОБЪЕКТА НА БАЗЕ МОДЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ОДНООСНОГО ДВУХСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ	47
<i>Е.А. Нащинцев</i> МОДЕЛЬНАЯ ЗАДАЧА УСТОЙЧИВОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ КРЕНА ВЫСОТНОГО ОБЪЕКТА НА БАЗЕ ОДНООСНОЙ МОДЕЛИ УПРУГО-ПЛАСТИЧНОГО ОСНОВАНИЯ	51
<i>Н.А. Парфентьева, С.В. Труханов, В.Л. Кащинцева</i> РАСЧЕТЫ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В СРЕДЕ С НЕПРОНИЦАЕМОЙ СТЕНКОЙ	55
<i>Н.А. Парфентьева, С.В. Труханов, Н.С. Сафонова</i> О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИБЛИЖЕННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ	58
<i>О.Ю. Сметанников, В.В. Зыков, К.А. Могильников</i> АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ НА БАЗЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ РАСЧЕТНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ	62
<i>О.Ю. Сметанников, Г.В. Ильиных</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ЛИТЬЕВЫХ ПРОТОТИПОВ	66
<i>О.Ю. Сметанников, Е.С. Михалев</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ ФОРМЫ ЛИТЬЕВЫХ ПРОТОТИПОВ В ANSYS	70
<i>М.Ю. Федотова</i> О СХОДИМОСТИ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ СО СМЕНОЙ ТИПА ГРАНИЧНОГО УСЛОВИЯ НА УЗКОЙ ПОЛОСКЕ	74

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>А.С. Торозова, В.П. Молчанов, П. Мяки-Арвела, К.П. Волчо, Н.Ф. Салахутдинов, Д.Ю. Мурзин</i> КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ИЗОМЕРИЗАЦИЯ ЭПОКСИДА ВЕРБЕНОЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕОЛИТОВ	77
--	----

<i>Е.А. Фарберова, Л.И. Павлова, Е.А. Тиньгаева, В.Г. Рябов, Е.М. Великий</i> АДСОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНТРАЦИТА	81
<i>Е.А. Фарберова, Н.А. Чиркова, Н.Б. Ходяшев, Е.А. Тиньгаева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ	86

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>А.И. Акимов</i> ЗАДАЧА ОБ ОХЛАЖДЕНИИ СПЛОШНОГО МНОГОСЛОЙНОГО ЦИЛИНДРА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	91
<i>А.В. Алексанин</i> ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПО УПРАВЛЕНИЮ ПОТОКАМИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ	94
<i>А.С. Андреев, Е.А. Кудашова, С.Ю. Раков</i> СИНТЕЗ НЕПРЕРЫВНОГО И КУСОЧНО-ПОСТОЯННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА	97
<i>Р.Г. Асадуллаев, В.В. Ломакин</i> ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЕМ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ	101
<i>В.И. Баженов, Е.А. Королева</i> ВАРИАНТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УДАЛЕНИЮ ЗАПАХА СТОЧНЫХ ВОД	104
<i>В.Ф. Бай, Т.В. Мальцева, А.Н. Краев</i> МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЛАБОГО ГЛИНИСТОГО ОСНОВАНИЯ, УСИЛЕННОГО ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ ПО КОНТУРУ ПОДУШКОЙ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОДОШВОЙ	108
<i>О.В. Балина, В.В. Насонов, Л.Н. Насонова</i> ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ: МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ	112
<i>В.Ф. Беккер, Ю.А. Садырева, И.Ф. Киссельман</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ В АППАРАТЕ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ	116
<i>С.В. Бирюков</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА ВОЗДУШНОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ	120
<i>А.В. Бродский</i> ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЯ КОРРЕКТНОСТИ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	123
<i>Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА АМПЛИТУДНЫХ И ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТОКА И КОНСТРУКЦИИ	127
<i>Л.В. Быков, П.В. Никитин, О.А. Пашков</i> МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕРАВНОМЕРНОГО СНОСЯЩЕГО ПОТОКА С КОНСТРУКЦИЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	130
<i>Л.В. Быков, О.А. Пашков</i> ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С НЕСУЩИМ ФЮЗЕЛЯЖЕМ	134
<i>А.М. Васильев, Г.В. Лунина, И.И. Прокуратов, А.Н. Федотов</i> ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ	137
<i>Н.П. Васина</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ КАПСУЛИРОВАННЫХ ФОРМ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ	141
<i>Ю.Д. Волков, А.В. Дудин</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ЭНЕРГОЗАТРАТАМ В УСЛОВИЯХ ВЕРОЯТНОСТНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	147

<i>В.В. Воронцов, В.П. Овчинников, А.В. Куликов</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАКРООБРАЗЦА ВОДОНАСЫЩЕННОГО ТОРФА С ИМИТАЦИЕЙ УДАЛЕНИЯ ОТ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	150
<i>Д.Ф. Гайнутдинова, В.Я. Модорский, Г.Ф. Масич</i> «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ ГИДРОУПРУГОСТИ»	155
<i>И.Б. Гинзбург</i> КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО НАСЫЩЕННЫХ ВЕБ-КЛИЕНТОВ	159
<i>И.С. Глумов</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	162
<i>К.Г. Горгоц</i> ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНОЙ СИЛЫ НА ЗАЗОРЫ В ЗАЦЕПЛЕНИЯХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ ТИПА 2К-Н БОРТОВЫХ РЕДУКТОРОВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН	165
<i>М.А. Гордеев – Бургвиц</i> СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ТЯГИ ДРАГЛАЙНА ПО ОТКЛОНЕНИЯМ ПОДЪЕМНОГО И ТЯГОВОГО КАНАТОВ ОТ ЗАДАННОЙ ТОЧКИ РАЗГРУЗКИ	170
<i>Т.А. Деменкова, Е.Ф. Певцов, Л.В. Твердохлебов</i> МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ	173
<i>О.В. Дмитриева</i> МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ВУЗЕ	176
<i>А.Ю. Дуженко</i> ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ СУДОВ ТИПА РО-РО И ЛО-РО, ПЕРЕВОЗЯЩИМ ОПАСНЫЕ ГРУЗЫ КЛАССА 7.(НА ПРИМЕРЕ ГРУЗОВЫХ СУДОВ КОМПАНИИ «АТЛАНТИК РО-РО КЭРРИЕРС, ИНК»)	179
<i>Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин</i> НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ БАЗЕ	182
<i>В.А. Завьялов, В.А. Величкин</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ	187
<i>В.А. Завьялов, В.А. Величкин</i> РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА	190
<i>Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганишин, А.Н. Макарова</i> СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ	193
<i>Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков</i> ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДНОГО ТОКА АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД	196
<i>Д.П. Ильященко</i> СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ	199
<i>В.В. Ионов, В.В. Курчавов</i> СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СЛОЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ НА ВРЕМЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ И ПРЕДМЕТОВ ПРИ ИХ ВИЗУАЛЬНОМ ВОСПРИЯТИИ НА ЭКРАНЕ ИНТРОСКОПА	202
<i>А.С. Исаев, Г.П. Жигулин</i> ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СОГЛАСНО ПОЛОЖЕНИЯМ МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ	206

С.Л. Калюлин, А.Ф. Шмаков, В.Я. Модорский ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КРУПНОГАБАРИТНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА В ПРИКЛАДНОМ ПАКЕТЕ IOSO PM	209
И.В. Карнаухова ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ВОЗДУХА НА РАСХОД ТОПЛИВА	213
Ю.П. Кириин, В.В. Кирьянов ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА	217
Ю.П. Кириин, В.В. Кирьянов ВАКУУМНАЯ СЕПАРАЦИЯ ГУБЧАТОГО ТИТАНА С РЕГУЛИРУЕМЫМ МАНОМЕТРИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ	223
Ю.П. Кириин, В.В. Кирьянов, В.А. Тихонов НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ВАКУУМНАЯ СЕПАРАЦИЯ ГУБЧАТОГО ТИТАНА	227
Т.В. Колесникова ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЫБОЗАЩИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	230
А.Б. Корняков, А.К. Клочко УМЕНЬШЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ В КОТЕЛЬНЫХ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГАЗОВОЗДУХОПРОВОДОВ	233
Т.А. Кузнецова, В.Г. Августиневич, А.П. Якушев СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С БОРТОВЫМИ МАТЕМАТИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ	236
Д.Н. Куклев, Н.В. Куклева О ПРОДВИЖЕНИИ ТРАНЗИТНЫХ ПОЕЗДОВ ЧЕРЕЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ УЗЛЫ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА	239
С.А. Куюков, Д.А. Гензе, А.В. Замятин ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДАРОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	242
М.Р. Лапшин, С.Т. Лескин, А.О. Скоморохов СТРУКТУРИРОВАННОЕ ХРАНЕНИЕ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММ СВЯЗИ	246
В.И. Линьков К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ДЛИННОМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	250
А.А. Мальшева НЕТРАДИЦИОННЫЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ - БИОГАЗ ПОЛИГОНОВ ТБО	254
С.В. Марков, Л.И. Шубин, К.С. Андрейцева КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ БАЛКОНОВ И ИХ ЭВОЛЮЦИЯ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ	257
А.О. Махорин, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕДУРЫ СМЕНЫ РОЛИ УЗЛОВ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ	260
Е.В. Мехоношина, В.Я. Модорский РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОУПРУГОЙ РАБОТЫ КОМПРЕССОРА	264
Ж.Г. Могилюк, М.С. Хлыстунов ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	269
Р.А. Нурмухаметов, Ю.А. Чурсин РЕАЛИЗАЦИЯ СТЕКА ПРОТОКОЛОВ ТСР/IP НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С ЯДРОМ ARM7	272
В.В. Опольский, Ю.А. Чурсин БЮДЖЕТНАЯ БЕСПРОВОДНАЯ АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА	275
Р.И. Паровик МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА РАДОНА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СЛОЕ ПОРИСТОГО ГРУНТА	278
А.В. Пермяков, И.А. Евдокимов, Т.В. Вобликова ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СЫВОРОТКИ В ТЕХНОЛОГИИ ЛАКТОЗЫ	282
А.П. Пустовгар, П.А. Лавданский, А.В. Журавлев, А.В. Есенов, В.В. Медведев, А.Д. Веденин ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЕ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА СЕРПЕНТИНИТОВОГО БЕТОНА	285

А.М. Пушкин МОДЕЛЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ ПРОЦЕССОРОМ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВОЗВРАТОВ	288
С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, М.В. Лукин, А.В. Лукина, А.С. Грибанов ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕСТРУКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ОПОРНЫХ ЗОН ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК ПУТЕМ ПРОПИТКИ ПОЛИМЕРНЫМ РАСТВОРОМ	293
Е.В. Сафонова СВЧ ДАТЧИКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БЫСТРЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ	297
В.А. Столярчук ПОСТПРОЦЕССОР УЧЕБНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ САЕ SIGMA ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ САПР АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ	300
Н.М. Труфанова, Д.П. Пасынков МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ	304
О.А. Туснина ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕСТКОСТИ СОЕДИНЕНИЯ ТОНКОСТЕННОГО ГНУТОГО ПРОГОНА ПОКРЫТИЯ С СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЬЮ	308
Р.С. Ульянов, Ю.Л. Беккер ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ И ИСКУССТВЕННЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ В ЗАМКНУТЫХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ	312
П.А. Хаванов, А.С. Чуленёв ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ	315
М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИИ	319
М.С. Хлыстунов, В.И. Прокопьев, Ж.Г. Могилюк ВЕРИФИКАЦИЯ КВАНТОВЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРЫВОВ ВЕТРА В ЛОНДОНЕ	322
В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.С. Доровских, В.А. Нестеров ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ АНТИКОАГУЛЯНТА В ПРОБИРКИ ДЛЯ ЗАБОРА КРОВИ	325
Г.Я. Чернобровкин, И.А. Ефанова РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ГИПСОЛИТОВЫХ БЛОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЫ-УНОС НЧГРЭС	329
П.С. Чурин, О.И. Поддаева, О.О. Егорычев ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАКЕТОВ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИКЕ	332
Ю.А. Чурсин, С.С. Михалевич ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСЧЕТ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ КОНТУРОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	336
А.Д. Чучалина, А.С. Ширкунов, В.Г. Рябов ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ТЯЖЁЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ	340
И.А. Шиколенко, Ю.Л. Беккер КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА	345
А.Г. Щербинин, Д.А. Шишкин, А.С. Мансуров ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛУПРОВОДЯЩИХ ЭКРАНОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ СИЛОВОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КАБЕЛЯ	348
А.Г. Щербинин, Д.А. Шишкин, А.С. Мансуров ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ТОКОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ	352
А.И. Юсупова, И.Г. Шайхиев ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ МОДЕЛЬНЫХ СТОКОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИОНЫ Cu(II) , ОПИЛКАМИ И ЭКСТРАКТАМИ ИЗ КОРЫ QUERCUS ROBUR	356
Д.А. Яковлев УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СТОХАСТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	359
АННОТАЦИИ	364

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>I.V. Fadeev, Sh.V. Sadetdinov, V.K. Polovnik</i> INVESTIGATION OF THE SOLUBILITY AND INHIBITORY ACTIONS SYSTEMS OF MONO-, TETRA-, PENTABORATE OF SODIUM - ETHYLENEDIAMINE - WATER AT 25°C	13
--	----

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

<i>P.S. Andreyev, YU.G. Konoplev, O.A. Sachenkov, R.F. Khasanov, I.V. Yashina</i> MATHEMATICAL MODELING OF ROTARY FLEXION OSTEOTOMY	18
<i>A.Yu. Gorokhov, A.I. Handarzyanova</i> STATIC AND DYNAMIC CALCULATION OF THE REFERENCE FRAME OF SELF-PROPELLED ARTILLERY	22
<i>P.I. Dergunov</i> MODELING OF THE ADSORBENT-ADSORBAT INTERACTIONS TO DESCRIBE DEFORMATION PHENOMENA	26
<i>P.I. Dergunov</i> A THEORETICAL APPROACH TO THE DEFINITION OF THERMODYNAMIC FUNCTIONS OF ADSORBENT TAKING INTO ACCOUNT THE DEFORMATION PHENOMENA	30
<i>V.V. Drushinin, A.A. Lazarev</i> EVIDENCE AND EXPANSION HYPOTHESIS LEGENDRE IN THE THEORY OF PRIME NUMBERS	34
<i>R.A. Castro, E.N. Lushin, E.A. Paznikov, V.N. Pak, P.V. Petrekov</i> THERMOANALYTICAL STUDY MODIFIED POLYMERS BASED POLY-N-METHYLALLYL-5-VINYLTETRAZOLE	37
<i>D.I. Liverovskiy, S.P. Shevirev</i> NUMERICAL INTEGRATION OF THE EULER EQUATIONS FOR THE SIMULATION OF HEAVY INCOMPRESSIBLE FLUID WITH FREE SURFACE	41
<i>E.A. Nashchintsev</i> CALCULATION OF THE DEFORMATION ROLL HIGH RISE ON THE BASIS OF TWO-LAYER UNIAXIAL MODEL PROBLEM GROUNDS	47
<i>E.A. Nashchintsev</i> MODEL PROBLEM OF STABILITY AND STRAIN ROLL HIGH-RISE BUILDING ON THE BASIS UNIAXIAL MODEL OF ELASTIC-PLASTIC BASE	51
<i>N.A. Parfentyeva, S.V. Truhanov, V.L. Kashintseva</i> FIELD CALCULATION THE IMPURITY CONCENTRATION IN ENVIRONMENT WITH IMPENETRABLE WALL	55
<i>N.A. Parfentyeva, S.V. Truhanov, N.S. Safonova</i> ON RATIONALE BEHIND THE APPLICATION OF APPROXIMATE ANALYTICAL METHODS TO THE SOLUTION OF PROBLEMS OF CONSTRUCTION THERMOPHYSICS	58
<i>O.Yu. Smetannikov, V.V. Zykov, K.A. Mogilnikov</i> ANALYSIS OF DURABILITY OF PRODUCTS USING THE SPECIALIZED AUTOMATED SYSTEMS	62
<i>O.Yu. Smetannikov, G.V. Ilinykh</i> THERMOMECHANICAL BEHAVIOUR OF PHOTOPOLYMER CASTING PATTERNS RESEARCH	66
<i>O.Yu. Smetannikov, Ye.S. Mikhalev</i> NUMERICAL MODELING TECHNOLOGICAL DEFECTS FORMS INJECTED PROTOTYPES IN ANSYS	70
<i>M.Yu. Fedotova</i> ON THE CONVERGENCE OF SOLUTIONS OF DIRICHLET PROBLEM WITH SWITCHING OF TYPE OF BOUNDARY CONDITION ON A NARROW STRIP	74

CHEMICAL SCIENCE

<i>A.S. Torozova, V.P. Molchanov, P. Mäki-Arvela, K.P. Volcho, N.F. Salakhutdinov, D.Yu. Murzin</i> CATALYTIC ISOMERISATION OF VERBENOL EPOXIDE OVER ZEOLITES	77
<i>E.A. Farberova, L.I. Pavlova, E.A. Tingaeva, V.G. Ryabov, E.M. Velikiy</i> THE ADSORPTION CHARACTERISTICS OF ACTIVATED CARBONS ANTHRACITE-BASED	81

<i>E.A. Farberova, N.A. Chirkova, N.B. Hodyashev, E.A. Tingaeva</i> STUDY OF FOSSIL COALS BY INFRARED SPECTROSCOPY	86
ENGINEERING SCIENCE	
<i>A.I. Akimov</i> THE PROBLEM OF COOLING A CONTINUOUS MULTI-LAYER CYLINDER OF COMPOSITE MATERIALS IN AUTOMATED TECHNOLOGICAL PROCESS	91
<i>A.V. Aleksanin</i> FEATURES OF IMPLEMENTATION OF THE PROJECT OF THE LOGISTIC CENTER FOR MANAGEMENT OF STREAMS OF BUILDING WASTES	94
<i>A.S. Andreev, E.A. Kudashova, S.Yu. Rakov</i> SYNTHESIS OF CONTINUOUS AND PIECEWISE CONSTANT MOTION CONTROLS OF WHEELED MOBILE ROBOTS	97
<i>R.G. Asadullaev, V.V. Lomakin</i> CREATION OF THE FUNCTION CHART OF PROCESS OF MANAGEMENT OF PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF THE PERSONNEL OF THE ENTERPRISE FOR THE ADAPTIVE LEARNING MANAGEMENT SYSTEM	101
<i>V.I. Bazhenov, E.A. Koroleva</i> VARIANTS OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR ODOR REMOVAL FROM WASTEWATER	104
<i>V.F. Bai, T.V. Maltseva, A.N. Krayev</i> CALCULATION METHOD OF THE WEAK CLAY FOUNDATION REINFORCED WITH FIBER REINFORCED SAND CUSHION WITH A CURVED SOLE	108
<i>O.V. Balina, V.V. Nassonov, L.N. Nassonova</i> EXAMINATION OF THE TECHNICAL DEVICES: METHODS OF DIAGNOSIS AND ANALYSIS OF THE PIPELINES	112
<i>V.F. Becker, Yu.A. Sadyreva, I.F. Kisselman</i> CLEANING EFFICIENCY OF DUST EMISSIONS IN THE APPARATUS FOR ROTATING THE MOVABLE NOZZLE	116
<i>S.V. Biryukov</i> IMPROVEMENT PROGRAM FOR THE CALCULATION OF AIR DISTRIBUTION IN BUILDINGS	120
<i>A.V. Brodskiy</i> FORMALIZATION OF OPTIMIZATION PROBLEM VALIDATION IN CAD SYSTEMS FOR AEROSPACE ENGINEERING	123
<i>L.N. Butymova, V.Ya. Modorsky, A.F. Shmakov</i> THE EXPERIMENTAL EVALUATION OF AMPLITUDE AND PHASE CHARACTERISTICS INTERACTION PROCESS GASDYNAMIC OF FLOW AND CONSTRUCTIONS	127
<i>L.V. Bykov, P.V. Nikitin, O.A. Pashkov</i> SIMULATION METHODS OF INTERACTION OF UNEVEN DEMOLISHING FLOW AND AIRCRAFT CONSTRUCTION	130
<i>L.V. Bykov, O.A. Pashkov</i> STATEMENT OF THE PROBLEM WITH FLOW AIRCRAFT WITH LIFTING FUSELAGE	134
<i>A.M. Vasilyev, G.V. Lunina, I.I. Prokuratov, A.N. Fedotov</i> INCREASE OF RELIABILITY OF THE ELECTRIC DRIVE WITH THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR	137
<i>N.P. Vasina</i> STUDY OF KINETICS OF DRYING OF THE PROTECTIVE COATING OF A CAPSULATED FORM OF MEDICINAL PREPARATIONS	141
<i>Yu.D. Volkov, A.V. Dudin</i> OPTIMIZATION OF THE EXPERIMENT ON ENERGY CONSUMPTION IN THE PROBABILITY OF UNCERTAINTY	147
<i>V.V. Voroncov, V.P. Ovchinnikov, A.V. Kulikov</i> LABORATORY STUDY RESULTS MACRO-SAMPLE OF WATER SATURATED PEAT WITH SIMULATED REMOTE FROM DAY SURFACE	150
<i>D.F. Gaynutdinova, V.Ya. Modorsky, G.F. Masich</i> DESIGN OF THE TECHNOLOGICAL PLATFORM FOR EXPERIMENTAL AND COMPUTING RESEARCH OF THE FAST-PROCEEDING HYDROELASTICITY PROCESSES	155
<i>I.B. Ginzburg</i> THE CONCEPT OF FAULT-TOLERANT OFFLINE-CAPABLE RICH CLIENT WEB APPLICATIONS FOR MAINTENANCE INFORMATION SUPPORT SYSTEMS USE IN AEROSPACE ENGINEERING	159
<i>I.S. Glumov</i> ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF RESOURCE PROVIDING THE PASSENGER MOTOR TRANSPORTATION ENTERPRISE	162

K.G. Gorgots INFLUENCE RADIAL FORCE BACKLASH IN GEARING PINIONS PLANETARY GEAR TYPE 2K-H Final Drive TRANSPORTATION MANUFACTURING MACHINES	165
M.A. Gordeev – Burgwitz THE METHOD OF AUTOMATIC CONTROL OF ELECTRIC TRACTION OF DRAGLINE FOR DEVIATIONS LIFTING AND TRACTION ROPE FROM THE POINT OF UNLOADING	170
T.A. Demenkova, E.Ph. Pevtsov, L.V. Tverdokhlebov METHOD OF OBJECT CONTOURS DEFINITION ON IMAGE	173
O.V. Dmitrieva METHODOICAL FEATURES OF DESIGNING INFORMATION TECHNOLOGIES APPLIED TO SUPPORT DECISION-MAKING PROCESS AT HIGHER EDUCATION INSTITUTION	176
A.Y. Duzhenko REQUIREMENTS FOR VESSELS OF RORO AND LORO, CARRYING DANGEROUS GOODS OF CLASS 7 (FOR EXAMPLE, CARGO SHIPS OF "ATLANTIC RO-RO CARRIERS, INC.")	179
N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin SCIENTIFIC AND PRACTICAL PRINCIPLES OF PRODUCTION AND USING OF GEOPOLYMER BINDERS BASED ON MAGMATIC ROCKS AND BUILDING MATERIALS ON ITS BASICS	182
V.A. Zavyalov, V.A. Velichkin OPTIMIZATION OF ENERGY EFFICIENCY CRITERION IN VIEW OF INTERFERENCE	187
V.A. Zavyalov, V.A. Velichkin CALCULATION PID – PARAMETERS	190
N.S. Zakharovov, O.A. Novoselov, R.A. Ziganshin, A.N. Makarova A SYSTEM STRUSTURE AT MODELLING OF SPARE PARTS EXPENDITURE FOR TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MACHINES IN OIL-AND-GAS PRODUCTION	193
N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov CHARGING CURRENT CHANGES OF AUTOMOTIVE LEAD - ACID BATTERIES IN WINTER	196
D.P. Ilyashenko INFLUENCE OF ENERGY CHARACTERISTICS POWER SUPPLY FOR STABILITY MMA	199
V.V. Ionov, V.V. Kurchavov STATISTICAL MODEL OF ASSESSMENT OF INFORMATION FIELD COMPLEXITY IMPACT ON DANGEROUS ARTICLES AND MATERIALS ACQUISITION TIME WHEN VISUAL RECEPTION ON X-RAY TELEVISION INTROSCOPE SCREEN	202
A.S. Isaev, G.P. Zhigulin FORMATION OF FUNCTIONAL GROUPS PROCESSES OF SECURITY MANAGEMENT UNDER THE PROVISIONS OF AN INFORMATION SECURITY MANAGEMENT METHOD BASED ON THE THEORY OF BUILDING EXPERT SYSTEMS	206
S.L. Kalulin, A.F. Shmakov, V.Ya. Modorsky OPTIMIZATION DESIGN OF LARGE-SIZED FAN FROM FIBERGLASS IN PROGRAM THE IOSO PM	209
I.V. Karnaukhova INFLUENCE OF AIR VISCOSITY TO FUEL CONSUMPTION	213
Y.P. Kirin, V.V. Kiryanov OPTIMAL CONTROLLING THE TEMPERATURE OF VACUUM SEPARATION OF TITANIUM SPONGE	217
Y.P. Kirin, V.V. Kiryanov VACUUM SEPARATION OF TITANIUM SPONGE WITH THE ADJUSTABLE MANOMETRIC MODE	223
Y.P. Kirin, V.V. Kiryanov, V.A. Tihonov LOW TEMPERATURE VACUUM SEPARATION OF TITANIUM SPONGE	227
T.V. Kolesnikova DESIGN OF FISH-PROTECTING COMPLEXES OF WATER INTAKING CONSTRUCTIONS	230
A.B. Kornjakov, A.K. Klochko ENERGY CONSUMPTION REDUCTION IN BOILER ROOMS AT RECONSTRUCTION OF GAS-AIR DUCTS	233
T.A. Kuznetsova, V.G. Avgustinovich, A.P. Yakushev THE STATISTICAL ANALYSIS OF PROCESSES IN AIRCRAFT ENGINE CONTROL SYSTEMS WITH ON-BOARD MATHEMATICAL MODELS	236

<i>D.N. Kuklev, N.V. Kukleva</i> ABOUT MOVEMENT OF TRANSIT TRAINS THROUGH RAILWAY JUNCTIONS FROM THE POINT OF VIEW OF THE SYSTEMATIC APPROACH	239
<i>S.A. Kuyukov, D.A. Genze, A.V. Zamyatin</i> APPLICATION OF THE GEORADAR AT ENGINEERING-GEOLOGICAL RESEARCHES IN SWAMPY TERRITORIES OF WESTERN SIBERIA	242
<i>M.R. Lapshin, S.T. Leskin, A.O. Skomorohov</i> THE STRUCTURED STORAGE AND PRESENTATION OF OPERATION DATA FOR THE ANALYSIS OF THE CONDITION OF THE EQUIPMENT OF THE NUCLEAR POWER PLANT BY MIND MAPS	246
<i>V.I. Linkov</i> EVALUATING STRENGTH OF LONG-LENGTH WOOD BEAMS	250
<i>A.A. Malysheva</i> RENEWABLE ENERGY SOURCES - BIOGAS MSW LANDFILL	254
<i>S.V. Markov, L.I. Shubin, K.S. Andreytseva</i> CONSTRUCTIVE SOLUTIONS BALCONIES AND THEIR EVOLUTION WITH THE DEVELOPMENT OF A MODERN REGULATORY FRAMEWORK	257
<i>A.O. Mahorin, S.N. Padalko, M.N. Terentev</i> PROBLEM FORMULATION TO OPTIMIZE PARAMETERS OF A PROCEDURE TO CHANGE NODE ROLES IN A MULTI-GATEWAY WIRELESS AD HOC NETWORK USED IN AEROSPACE SYSTEMS	260
<i>E.V. Mekhonoshina, V.Ya. Modorsky</i> DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR NUMERICAL SIMULATION OF AEROELASTIC OPERATION OF THE COMPRESSOR	264
<i>Zh.G. Mogiljuk, M.S. Hlystunov</i> STUDY THE DYNAMIC SURVEYS RELIABILITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES	269
<i>R.A. Nurmukhametov, Y.A. Chursin</i> IMPLEMENTATION PROTOCOL STACK TCP/IP MICROCONTROLLER WITH ARM7 CORE BASED	272
<i>V.V. Opolsky, U.A. Chursin</i> LOW COST WIRELESS MONITORING SYSTEM	275
<i>R.I. Parovik</i> MATHEMATICAL MODEL OF TRANSPORT OF RADON IN A CYLINDRICAL LAYER OF POROUS SOIL	278
<i>A.V. Permyakov, I.A. Evdokimov, T.V. Voblikova</i> THE APPLICATION OF MEMBRANE PROCESSING METHODS OF WHEY IN LACTOSE TECHNOLOGY	282
<i>A.P. Pustovgar, P.A. Lavdansky, A.V. Zhuravlev, A.V. Esenov, V.V. Medvedev, A.D. Vedenin</i> HYDRATION HEAT RELEASE OF CEMENT IN SERPENTINE CONCRETE	285
<i>A.M. Pushkin</i> A MODEL OF STATIONARY OBJECTS SERVICE BY A MOVING PROCESSOR WITH RETURN POSSIBILITY	288
<i>S.I. Roshchina, E.A. Smirnov, M.V. Lukin, A.V. Lukina, A.S. Griбанov</i> DESTRUCTIVE RECOVERY PHASE REFERENCE ZONE WOODEN BEAMS BY IMPREGNATION OF THE POLYMER SOLUTION	293
<i>E.V. Safonova</i> MICROWAVE SENSORS APPLICATIVE FOR THE FAST PROCESS DIAGNOSTICS IN THERMAL POWER ENGINES	297
<i>V.A. Stolyarchuk</i> POSTPROCESSOR OF THE SIGMA SYSTEM FOR TRAINING OF DEVELOPERS OF CAD APPLICATIONS USED IN AEROSPACE INDUSTRY	300
<i>N.M. Trufanova, D.A. Pasenkov</i> MATHEMATICAL MODELS AND NUMERICAL ANALYSIS OF THE VULCANIZATION PROCESS OF RUBBER INSULATED	304
<i>O.A. Tusnina</i> EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF ROTATIONAL RESTRAINT OF PURLINS GIVEN BY SANDWICH PANELS	308
<i>R.S. Ulyanov, Y.L. Bekker</i> PROSPECTS OF APPLICATION CLIMATE CONTROL SYSTEM AND ARTIFICIAL LIGHTING CONTAINED ISOLATED PREMISES	312
<i>P.A. Khavanov, A.S. Chulenyov</i> GENERAL ISSUES OF DESIGNING LOW POWER THERMAL GENERATORS	315
<i>M.S. Hlystunov, Zh.G. Mogiljuk</i> THIN REGULARITIES INVESTIGATION OF LOADS FORMATION ON STRUCTURES	319

<i>M.S. Hlystunov, V.I. Prokopiev, Zh.G. Mogiljuk</i> VERIFICATION OF WIND GUSTS FORMATION QUANTUM REGULARITIES IN LONDON	322
<i>V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, R.S. Dorovskikh, V.A. Nesterov</i> SELECTION OF OPTIMAL MODES OF ULTRASONIC ACTION FOR SPRAYING OF ANTICOAGULANT IN BLOOD COLLECTION TUBE	325
<i>G.Ya. Chernobrovkin, I.A. Efanova</i> DEVELOPMENT OF STRUCTURES AND RESEARCH OF THE MAIN PROPERTIES OF GIPSOLITOV'S OF BLOCKS WITH USE OF ZOLY-UNOS NCHGRES	329
<i>P.S. Churin, O.I. Poddaeva, O.O. Egorychev</i> DESIGN OF UNIQUE BUILDINGS AND STRUCTURES MODELS IN EXPERIMENTAL AERODYNAMICS	332
<i>Yu.A. Chursin, S.S. Mihalevich</i> IDENTIFICATION AND SOLUTION OF ALGEBRAIC LOOPS IN DYNAMIC SYSTEMS	336
<i>A.D. Chuchalina, A.S. Shirkunov, V.G. Ryabov</i> ANALYSIS OF APPLICABILITY OF HEAVY OIL RESIDUES AS BINDER IN GRANULATED ACTIVE COALS PRODUCTION	340
<i>I.A. Shikolenko, U.L. Bekker</i> CONCEPT APPLICATION AUTOMATION ENGINEERING SYSTEMS AND ENERGY POLICIES APARTMENT BUILDINGS	345
<i>A.G. Shcherbinin, D.A. Shishkin, A.S. Mansurov</i> ANALYSIS OF THE ELECTRIC FIELD OF POWER HV CABLE AND TO ASSESS THE IMPACT OF VARIOUS FACTORS ON ITS REDISTRIBUTION	348
<i>A.G. Shcherbinin, D.A. Shishkin, A.S. Mansurov</i> DEFINITION OF OPERATING CURRENT HIGH VOLTAGE CABLES	352
<i>A.I. Yusupova, I.G. Shaihiyev</i> RESEARCH EFFICIENCY OF USING SAWDUST OF PURIFICATION OF THE MODEL WATERS CONTAINING IONS COPPER (II) BY OAK BARK AND THE EXTRACT FROM THE SAWDUST OF OAK BARK	356
<i>D.A. Jakovlev</i> DYNAMIC PROCESSES CONTROL IN STOCHASTIC ELECTROMECHANICAL SYSTEMS	359
ABSTRACTS	364

05.17.03

И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, В.К. Половняк

Волжский филиал ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»,
автомобильно-дорожный факультет, кафедра сервиса транспортных и технологических машин, г. Чебоксары, ivan-fadeev-2012@mail.ru
Казанский государственный технологический университет,
кафедра неорганической химии, г. Казань, vkpol@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ И ИНГИБИТОРНОГО ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ МОНО-, ТЕТРА-, ПЕНТАБОРАТ НАТРИЯ – ЭТИЛЕНДИАМИН – ВОДА ПРИ 25°C.

Представлены результаты изучения растворимости и ингибиторного действия систем моно-, тетра-, пентаборат натрия – этилендиамин – вода при 25°C. Установлено, что аминокислотные композиции являются эффективными ингибиторами коррозии металлов.

Ключевые слова: системы, бораты натрия, этилендиамин, ингибиторы коррозии металлов.

Известно, что бораты натрия, являясь эффективными ингибиторами коррозии металлов входят в состав многих современных технологических жидкостей и пассивирующих растворов в машиностроении [1]. Органические соединения класса аминов также обладают противокоррозионными свойствами [2]. Так как при совместном использовании ингибиторов возможен синергетический эффект, представляет интерес исследование ингибиторного действия многокомпонентных составов с участием боратов натрия и этилендиамина (ЭДА).

В целях подбора новых противокоррозионных композиций изучены тройные системы $\text{NaBO}_2(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7, \text{NaB}_5\text{O}_8) - \text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 - \text{H}_2\text{O}$ методом изотермической растворимости при 25 °C.

Для опытов брали бораты натрия марки «х.ч.» и свежеперегнанный этилендиамин квалификации «ч». Изотермическую среду создавали в водном термостате с точностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Равновесие в системе при энергичном перемешивании устанавливалось через 6 ч. Аналитические определения в пробах жидких и твердых фаз вели на содержание борат-ионов, которые определяли алкаиметрически в присутствии маннита [2] и азота амина по методике, описанной в работе [3]. Состав истинной твердой фазы устанавливали графически по Скрейнемакерсу [4]. Полученные экспериментальные данные по растворимости приведены в табл. 1 и на рис.1 (в качестве примера приведена диаграмма растворимости системы $\text{NaBO}_2 - \text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 - \text{H}_2\text{O}$ при 25 °C).

Таблица 1 – Данные по растворимости в системах $\text{NaBO}_2 (\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7, \text{NaB}_5\text{O}_8) - \text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 - \text{H}_2\text{O}$ при 25 °C

№ точк и	Жидкая фаза, масс. %		Твердый остаток, масс. %		Твердая фаза
	NaBO ₂ Na ₂ B ₄ O ₇ NaB ₅ O ₈	H ₂ NCH ₂ CH ₂ NH ₂	NaBO ₂ Na ₂ B ₄ O ₇ NaB ₅ O ₈	H ₂ NCH ₂ CH ₂ NH ₂	
	NaBO ₂ - H ₂ NCH ₂ CH ₂ NH ₂ - H ₂ O				
1	21,96	-	47,74	-	NaBO ₂ ·4H ₂ O
2	18,42	6,57	47,70	0,36	NaBO ₂ ·4H ₂ O
3	13,44	14,12	47,66	0,58	NaBO ₂ ·4H ₂ O
4	10,80	21,06	47,12	0,70	NaBO ₂ ·4H ₂ O
5	7,96	27,86	47,02	0,64	NaBO ₂ ·4H ₂ O
6	4,85	30,14	-	-	Нет

7	-	32,79	-	-	$\text{NaBO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 - \text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 - \text{H}_2\text{O}$					
1	3,08	-	52,79	-	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
2	2,14	10,50	52,70	0,40	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
3	1,50	21,64	52,32	0,68	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
4	1,42	25,06	52,30	0,70	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
5	1,38	31,84	52,14	0,76	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
6	-	32,79	-	-	Нет
$\text{NaB}_5\text{O}_8 - \text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 - \text{H}_2\text{O}$					
1	11,60	-	69,50	-	$\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
2	9,70	9,58	69,42	0,58	$\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
3	7,45	16,72	69,36	0,64	$\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
4	5,06	23,65	69,30	0,70	$\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
5	3,87	29,92	69,28	0,73	$\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
6	2,18	30,23	-	-	Нет
7	-	31,79	-	-	$\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

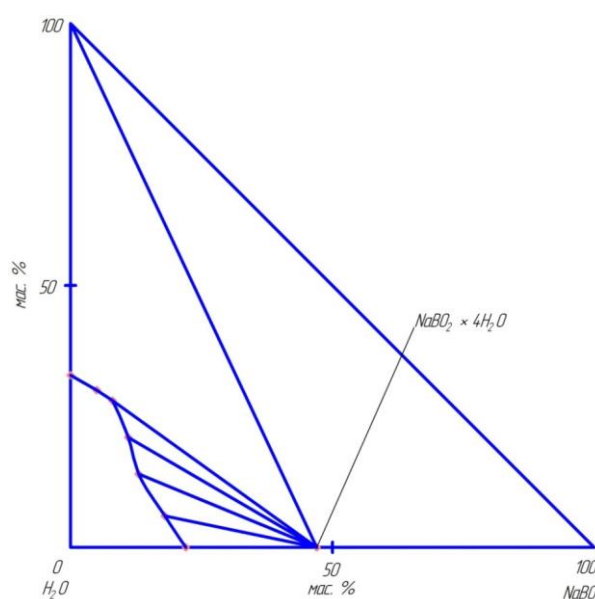


Рис. 1 - Изотрема растворимости в системе $\text{Na}_2\text{BO}_2 - \text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 - \text{H}_2\text{O}$ при 25°C

Из данных табл.1 и рис.1 следует, что изученные системы относятся к простому эвтоническому типу. Установлено, что растворимость боратов по мере накопления этилендиамина понижается. Эвтонические растворы характеризуются следующими составами (мас.%): 7,96 NaBO_2 и 27,86 $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$; 1,38 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и 31,84 $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$; 3,87 NaB_5O_8 и 29,92 $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$. Составы эвтонических точек (водная фаза) указывают на то, что бораты натрия и этилендиамин при совместном присутствии высаливаются.

Пассивирующие свойства моно-, тетра- и пентабората натрия и смеси каждого бората с этилендиамином были изучены путем измерения стационарных потенциалов стали Ст 10 в 0,1 молярных растворах с помощью высокоомного вольтметра потенциостата П-5848. Смеси приготовлены в соотношениях, отвечающих составам точек 5,5 и 5 (табл.1). В растворах борнокислых солей натрия электродные потенциалы стали во времени облагораживаются и по их пассивирующему действию они располагаются в ряд $\text{NaBO}_2 > \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 > \text{NaB}_5\text{O}_8$ (см. рис. 2).

Введение этилендиамина в растворы солей, не нарушая указанной последовательности, приводит к повышению ингибирующего действия составов. Электродные потенциалы

систем по истечении 24 ч приобретают более положительные значения по сравнению с растворами моно-, тетра- и пентабората натрия.

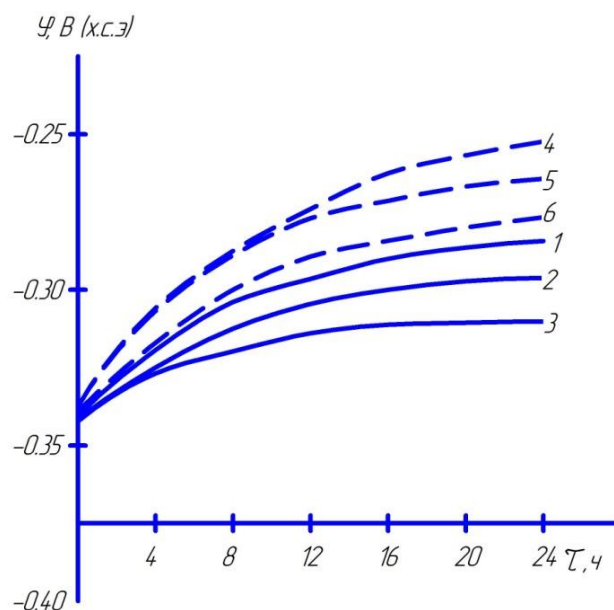


Рис. 2 - Изменение стационарного потенциала стали Ст 10 во времени в 0,1 мол. растворах:

1 - NaBO_2 ; 2 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$; 3 - NaB_4O_7 ; 4 - $\text{NaBO}_2 + \text{N}_2\text{H}_4\text{C}_2\text{H}_4$;
5 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{N}_2\text{H}_4\text{C}_2\text{H}_4$; 6 - $\text{NaB}_5\text{O}_8 + \text{N}_2\text{H}_4\text{C}_2\text{H}_4$;

Электрохимические исследования, проведенные методом снятия потенциодинамических поляризационных кривых, показали, что бораты натрия в смеси с этилендиамином характеризуются большей ингибирующей способностью, чем их составляющие в отдельности. На рис. 3 приведены анодные и катодные потенциодинамические поляризационные кривые стали Ст 10.

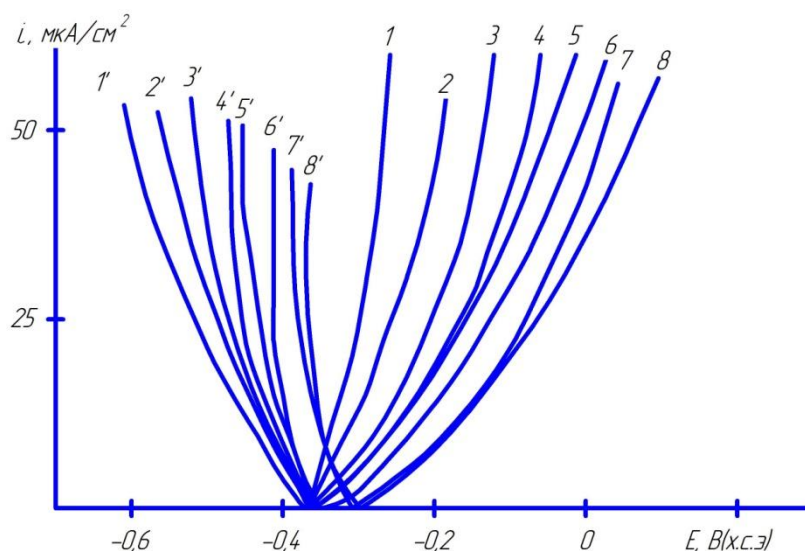


Рис. 3 - Анодные и катодные потенциодинамические поляризационные кривые стали Ст 10 в 3% - ном растворе NaCl без ингибитора (1 и 1') и с ингибитором: 2 и 2' - ЭДА; 3 и 3' -

NaB_5O_8 ; 4 и 4' - NaB_4O_7 ; 5 и 5' - NaBO_2 ;
6 и 6' - $\text{NaB}_5\text{O}_8 + \text{ЭДА}$; 7 и 7' - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{ЭДА}$; 8 и 8' - $\text{NaBO}_2 + \text{ЭДА}$.

В 3% - ном растворе NaCl сталь интенсивно растворяется (кривые 1 и 1'). В присутствии ингибиторов (кривые 2 и 2'; 3 и 3'; 4 и 4'; 5 и 5'; 6 и 6'; 7 и 7'; 8 и 8') потенциалы растворения металла смещены в положительную сторону относительно $E_{кор}$ в фоновом электролите. Следует отметить, что ингибиторные составы преимущественно замедляют анодный процесс, и композиции на основе монобората натрия и этилендиамина имеют более сильно выраженные противокоррозионные свойства.

В связи с тем, что значительная часть разрушений металлических конструкций происходит в результате коррозии и коррозионной усталости металла, были проведены коррозионно-усталостные испытания стали Ст 10 по методике, описанной в [5].

Результаты усталостных и коррозионно-усталостных испытаний стали в растворе хлорида натрия с добавкой и без добавки композиции монобората натрия с этилендиамином, как наиболее эффективным ингибитором, представлены на рис.4 (кривые 1, 2 и 3).

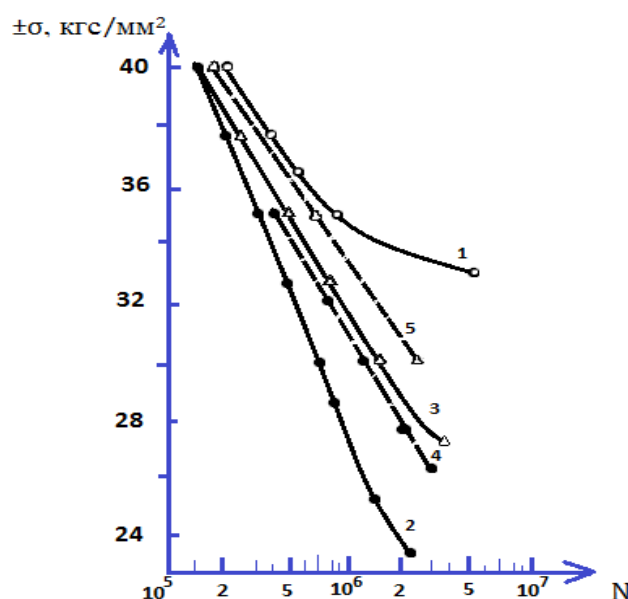


Рис. 4 - Кривые усталости и коррозионной усталости стали Ст.10: 1 – воздух; 2 - 3% -ный раствор NaCl; 3 – 3% - ный раствор NaCl + состав монобрат натрия и этилендиамин в количестве 0,1 моль; 4 – воздух после предварительной выдержки в 3% - ном растворе NaCl; 5 – воздух после предварительной выдержки в 3% - ном растворе NaCl + состав монобрат натрия и этилендиамин в количестве 0,1 моль

Для выяснения природы разрушающих факторов, вызывающих уменьшение циклической прочности, снимали усталостные кривые на воздухе после предварительной выдержки металла в коррозионных средах (кривые 4, 5)

Приведенные данные указывают на то, что суммарная потеря циклической прочности исследуемой стали в 3%-ном растворе хлорида натрия на базе испытания $N=2 \cdot 10^6$ циклов составляет $10,8 \text{ кгс/мм}^2$ (кривые 1 и 2). Из них $6,2 \text{ кгс/мм}^2$ или 57,4% приходится на чисто коррозионные поражения и $4,6 \text{ кгс/мм}^2$ или 42,6% - на коррозионно- механические (кривые 1, 2 и 4). Добавка состава монобрат натрия и этилендиамина в количестве 0,1 моль увеличивает циклическую прочность стали (сравнить кривые 2 и 3), что обусловлено снижением эффективности действия разрушающих факторов в уменьшении циклической прочности металла (кривые 1, 3 и 5). На данной базе испытания ингибиторная добавка в равной мере уменьшает разрушающий эффект число коррозионных и коррозионно-механических поражений.

Список литературы

1. *Козлов, Ю. С.* Очистка изделий в машиностроении. / Ю. С. Козлов, О. К. Кузнецов, А. Ф. Тельнов. М.: «Машиностроение». 1982. - 264 с.
2. *Садетдинов, Ш. В.* Системы моно-, тетра-, пентабораты лития, натрия, калия – гидразин - вода при 25°С. // Известия инженерно - технологической академии Чувашской Республики.- 1997, №2. – С. 174 – 179.
3. *Садетдинов, Ш. В.* Взаимодействие борной кислоты с метил-, этил и фенилгидразинами / Ш. В. Садетдинов, Г. П. Павлов, С. Д. Данилов, И. Г. Краснов // Журнал неорг. химии. - 1998. - Т. 43, №5 - С. 866 – 869.
4. *Аносов, В. Я.* Основы физико-химического анализа / В. Я. Аносов, М. И. Озерова, Ю. Я. Фиалков. М.: «Наука». 1978. -504 с.
5. *Фадеев, И. В.* Коррозия и защита металлов: учеб. пособие / И. В. Фадеев, Ш. В. Садетдинов, С. В. Житарь. - Чебоксары: Волжский филиал МАДИ. 2014. – 110 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.02.08

П.С. Андреев, Ю.Г. Коноплев, О.А. Саченков, Р.Ф. Хасанов, И.В. Яшина

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
ГАУЗ "Республиканская клиническая больница" МЗ РТ,
Казань, 4works@bk.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОТАЦИОННОЙ ФЛЕКСИОННОЙ
ОСТЕОТОМИИ**

В работе представлены результаты исследования биомеханики нового метода лечения болезни Легга-Кальве-Пертеса. Была построена математическая модель тазобедренного сустава с учетом основной группы мышц, проведены численные расчеты ротационной флекссионной остеотомии. Результаты сравнивались с клиническими исследованиями.

Ключевые слова: биомеханика, тазобедренный сустав, болезнь Легга-Кальве-Пертеса, математическое моделирование, ротационная остеотомия.

Среди заболеваний тазобедренного сустава в детском возрасте болезнь Пертеса отмечена в 25-30% (Низковская М.М., Грацианский В.П., 1940; Абальмасова Е.А., 1983; Овчинников Г.И., 1991;). Высокий уровень распространенности заболевания тазобедренного сустава у детей и определяет медицинскую и социальную значимость проблемы. Прогноз при лечении болезни Пертеса при тяжелом поражении эпифиза до 89,5% случаев заканчивается остаточной деформацией и дисконгруэнтностью головки бедренной кости и вертлужной впадины и развитием коксартроза (Лимин А.Л., 1974). Хирургический метод лечения остеохондропатии головки бедра у детей имеет решающее значение.

Целью нашего исследования является улучшение результатов медицинской реабилитации детей и подростков с болезнью Легга-Кальве-Пертеса с применением современных реконструктивно-восстановительных вмешательств [1–6] на основе концепции трехплоскостной коррекции пространственной патологической ориентации проксимального отдела бедренной кости с учетом стадии заболевания локализации дегенеративно-дистрофического процесса и тяжести поражения (патент на изобретение №2440050 «Способ лечения болезни Пертеса»).

Был проведен анализ лечения 42 пациентов с Шст. (73,6% из общего числа всех больных с болезнью Легг-Кальве-Пертеса прошедших стационарное лечение в травматолого-ортопедическом (детском) отделении ГАУЗ «Республиканская клиническая больница» МЗ РТ).

Первоначальные исследования проводились на основе построенной кинематической модели тазобедренного сустава [7-9]. В рамках моделирования учитывалось влияние основной группы мышц, к ним были отнесены следующие мышцы: mm. piriformis, rectus femoris, iliopsoas, obturator internus, gluteus minimus, medius et maximus. Упругие характеристики для механических моделей мышц брались согласно проведенным исследованиям [10-14]. Для моделирования механического поведения мышц была использована модель Хилла (см. рис. 1)

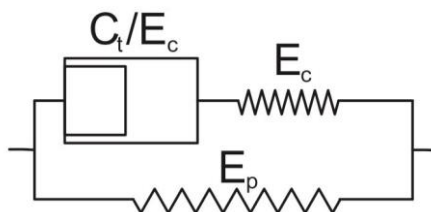


Рис. 1. Вязко-упругая модель Хила.

В этом случае соотношения связывающие напряжения и деформации можно представить в виде:

$$C_t \frac{d\sigma}{dt} + \sigma = C_t(E_c + E_p) \frac{d\varepsilon}{dt} + E_p \varepsilon, \text{ где}$$

C_t – приведенная вязкость,

E_c – модуль упругости для элемента I,

E_p – модуль упругости для элемента II,

σ, ε – нормальные напряжения и деформация соответственно.

Моделирование остеотомии проводилось на основе метода конечных элементов, мышцы моделировались одномерными вязко-упругими элементами на основе модели Хилла [15, 16]. Зоны крепления мышц определялись на основании анатомических исследований, безымянной кости задавались граничные условия опирания на крестец, между головкой бедренной кости и вертлужной впадиной задавалось контактное взаимодействие. Остеотомия моделировалась параболическим рассечением бедренной кости вдоль дуги Адамса и заданием кинематических граничных условий свободной поверхности проксимального участка кости. На рис. 2 представлена конечно-элементная модель сустава.

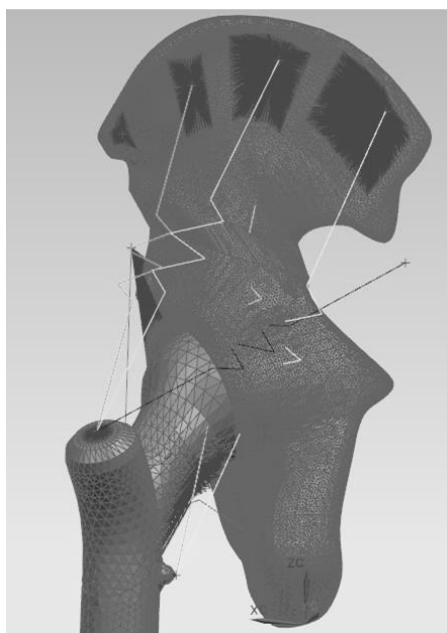


Рис. 2. Конечно-элементная модель сустава.

Расчеты показали, что большие усилия от растяжения возникают в *m. obturator internus*, в меньшей степени *m. piriformis* (см. рис. 3). Так при мгновенном смещении на 10 мм. максимальные усилия в *m. obturator internus* достигли 467 Н, в *m. piriformis* – 233 Н; при мгновенном смещении на 15мм. – 778 Н, в *m. piriformis* – 389 Н. Оценка напряженно-деформированного состояния вертлужной впадины показала, что характер распределения напряжений схож, в зависимости от величины остеотомии локализуются зоны максимальных напряжений (см. рис. 4) [17].

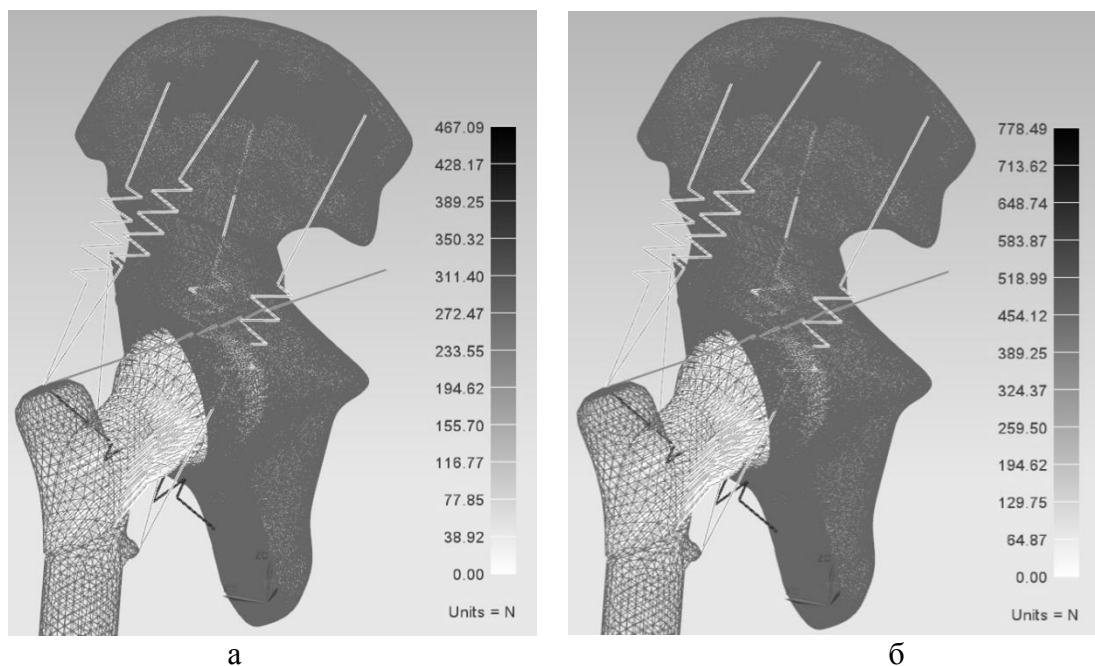


Рис. 3. Растягивающие усилия (Н) в мышцах, а - смещение на 10 мм, б - 15 мм.

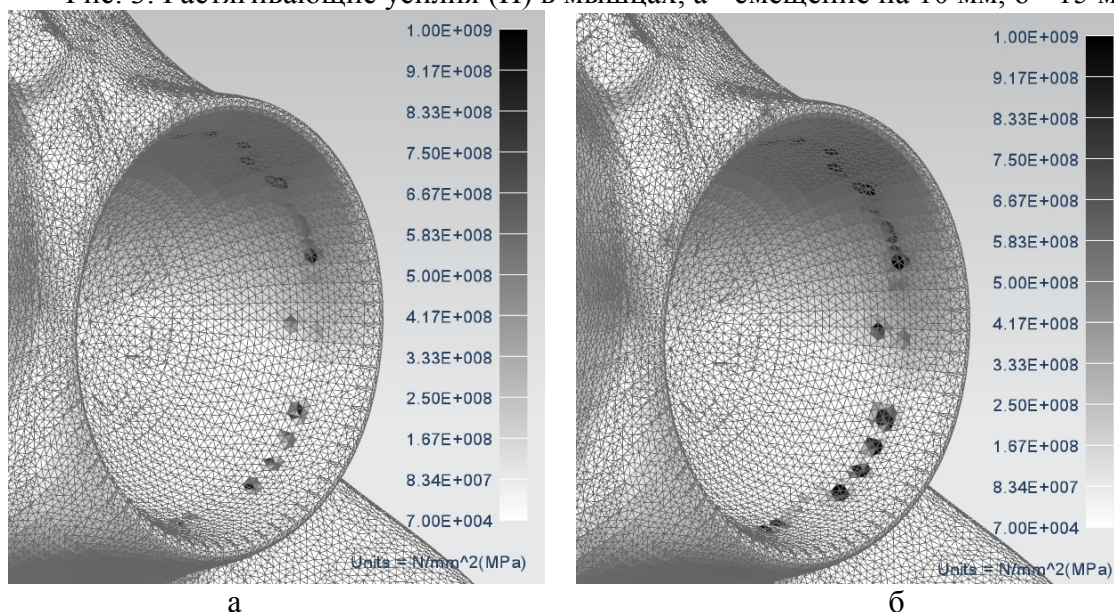


Рис. 4. Напряжения (МПа) в вертлужной впадине, а - смещение на 10 мм, б - 15 мм.

Для восстановления нормального биомеханического состояния сустава, снижения напряжений в мышцах и вертлужной впадины необходимо изменения тактики остеотомии – частичный разворот проксимального участка бедренной кости, с постепенной коррекцией после операции.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-01-31291.

Список литературы

1. Скворцов А.П., Андреев П.С., Яшина И.В., Хасанов Р.Ф. Биомеханические аспекты применения моностеральных аппаратов внешней фиксации для лечения укорочений и повреждений бедренной кости у детей // Современное искусство медицины – 2012. – № 6 (8) – С. 62-69.
2. Хасанов Р.Ф., Андреев П.С., Скворцов А.П., Ахтямов И.Ф., Яшина И.В. Варианты хирургического лечения болезни Легга-Кальве-Пертеса // Современное искусство медицины – 2013. – № 4 (12) – С. 5-9.

3. Выборнов Д.Ю., Гуревич А.И., Тихоненко Т.И., Лозовая Ю.И., Гуревич А.Б. Динамическая ультрасонография в комплексной диагностике и лечении болезни Пертеса у детей // Детская хирургия. 2010. № 6. С. 6-8.
4. Большаков О.П., Корнилов Н.В., Расулов Р.М. Значение функциональных и анатомических факторов в выборе метода лечения взрослых больных с асептическим некрозом головки бедренной кости и детей с болезнью Легга-Кальве-Пертеса // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2007. № 2. С. 27-31.
5. Малахов О.А., Крупаткин А.И., Иванов А.В. Алгоритм ранней диагностики болезни Легга-Кальве-Пертеса с использованием компьютерной термографии // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. 2001. № 6. С. 42-46.
6. Кожевников О.В., Иванов А.В., Кралина С.Э., Грибова И.В. Современные подходы к хирургической коррекции проксимального отдела бедренной кости при болезни Легга-Кальве-Пертеса // Вестник Российской академии медицинских наук. 2008. № 9. С. 12-17.
7. Закиров Р.Х., Зарипов Р.А., Коноплев Ю.Г., Митряйкин В.И., Саченков О.А. Диагностика асептического некроза головки бедренной кости с использованием спиральной компьютерной и магнитно-резонансной томографии и применение математического моделирования при планировании операции по эндопротезированию тазобедренного сустава // Практическая медицина. Актуальные проблемы медицины – Казань 2012. – Т. 2, №8 (64) – С.63-68.
8. Акулич А.Ю., Акулич Ю.В., Денисов А.С. Экспериментальное определение разрушающих касательных напряжений трабекулярной костной ткани головки бедра человека // Российский журнал биомеханики. 2010 . Т. 14, № 4 (50): 7–16
9. Акулич Ю.В., Акулич А. Ю., Денисов А.С. Влияние количества и размеров резьбовых фиксаторов на адаптационные изменения механических свойств губчатой костной ткани и усилие сжатия отломков после контролируемого остеосинтеза перелома шейки бедра // Российский журнал биомеханики. 2012. Т. 16, № 2 (56): 21–29
10. Закиров Р.Х., Коноплев Ю.Г., Митряйкин В.И., Саченков О.А. Математическое моделирование биомеханики сустава // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья – 2012. – №1 – С.31-37.
11. Акулич Ю.В., Подгаец Р.М., Скрябин В.Л., Сотин А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния эндопротезированного тазобедренного сустава // Российский журнал биомеханики – 2007. – Т. 11, №4 – С. 9-35.
12. Зайцева Т.А., Коноплев Ю.Г., Митряйкин В.И., Саченков О.А. Математическое моделирование вывиха имплантат в тазобедренном суставе // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева – 2013 г. – №1 – С. 99-104.
13. Натали А.Н., Карниель Э.Л., Вентурато Ч., Паван П.Д. Исследование механического поведения трабекулярной костной ткани с учётом вязкоупругопластического отклика // Российский журнал биомеханики, 2009, том 13, № 3 (45): 20–31
14. Шилько С.В., Черноус Д.А., Бондаренко К.К. Метод определения in vivo вязкоупругих характеристик скелетных мышц // Российский журнал биомеханики, 2007, том 11, № 1: 45-54
15. Голованов А.И., Коноплев Ю.Г., Султанов Л.У. Численное исследование конечных деформаций гиперупругих тел. IV. Конечноэлементная реализация. Примеры решения задач // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2010. – Т. 152, № 4. – С. 115-126.
16. Голованов А.И., Султанов Л.У. Большие вязкоупругопластические деформации трехмерных тел // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2005. – Т. 147, № 3. – С. 75-89.
17. Беджинский Р., Подрез-Радзишевска М., Тиндик М., Кржеминский М. Анализ напряженно-деформированного состояния в проксимальном эпифизе бедренной кости при болезни Легга-Кальве-Пертеса // Российский журнал биомеханики. 2002. Т. 6. № 3. С. 66-76.

01.02.06

А.Ю. Горохов, А.И. Хандарзянова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, littlealex99@mail.ru

СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОПОРНОЙ СТАНИНЫ САМОХОДНОГО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУДИЯ

Построена модель опорной станины самоходного артиллерийского орудия (САО) в соответствии с технической документацией. Задача разделена на 3 этапа: анализ напряженно-деформированного состояния конструкции, динамический расчет, исследование коэффициента демпфирования. В результате расчётов получены: максимальные значения напряжения, которые не превышают предел прочности и текучести; графики зависимости перемещений и напряжений от времени; зависимость перемещения и напряжения от коэффициента демпфирования. Установлено, что конструкция станины обеспечивает орудью устойчивость и необходимый угол обстрела в рабочем состоянии.

Ключевые слова: *конечно-элементная модель, динамический расчет, коэффициент демпфирования, устойчивость.*

В настоящее время численный эксперимент всё больше и больше вытесняет натурные испытания. В данной работе произведён численный анализ динамического поведения сложной конструкции методом конечных элементов с использованием популярного САЕ пакета ANSYS. Подобные расчётны рассмотрены в работах [1–3]. Проблема демпфирования колебаний поднималась в работе [4].

Целью работы является проверка конструкции станины на обеспечение устойчивости орудия, а также оценка влияния коэффициента демпфирования на напряжения и перемещения в станине.

Поставлены и решены следующие задачи: построить и отладить численную модель станины; реализовать конечно-элементную дискретизацию модели; произвести расчёт НДС станины и проверить её работоспособность; произвести динамический расчет конструкции; оценить влияние коэффициента демпфирования на расчётные характеристики станины.

Станины представляют собой сварную конструкцию коробчатого типа. В боевом положении являются точками опоры, обеспечивающими устойчивость САО на колесном шасси. Модель динамического поведения всей конструкции САО можно найти в работе [5].

Материал сталь 07ХЗГНМЮА изотропный упруго-пластичный со следующими характеристиками: модуль упругости $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$, предел текучести $\sigma_T = 785$ МПа, предел прочности $\sigma_B = 980$ МПа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Математическая постановка задачи:

– уравнения равновесия: $\frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k} + \rho g_i = 0$,

– кинематические соотношения $u_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right)$,

– граничные условия:

- края с жестким закреплением: $(\delta w)_L = \delta \left(\frac{\partial w}{\partial n} \right)_L = 0$,

- свободные края: $N_L - \frac{\partial H}{\partial l} = 0$; $M_L = 0$.

Для расчета выбрана система координат $OXYZ$, связанная со станиной: X – вбок; Y – вдоль станины; Z – вверх.

Закрепление: в ухе запрещены перемещения в цилиндрической системе координат по оси X и Z ; в середине стержня, моделирующего ось гидроцилиндра, в зависимости от его положения, под некоторым углом заданы ограничения на перемещения по оси X .

Станина нагружена усилиями F_x, F_y, F_z и моментами M_x, M_y, M_z .

Нагрузка передается от оси сошника на внутреннюю поверхность уха поворотного.

Силы прикладываются в отверстии уха поворотного: по оси Y в противоположном и по оси Z в прямом направлении по дуге контакта, [6, 7]; по оси X нагрузка прикладывается по контуру отверстия уха поворотного в направлении действия силы. Схема приведена на рис 1.

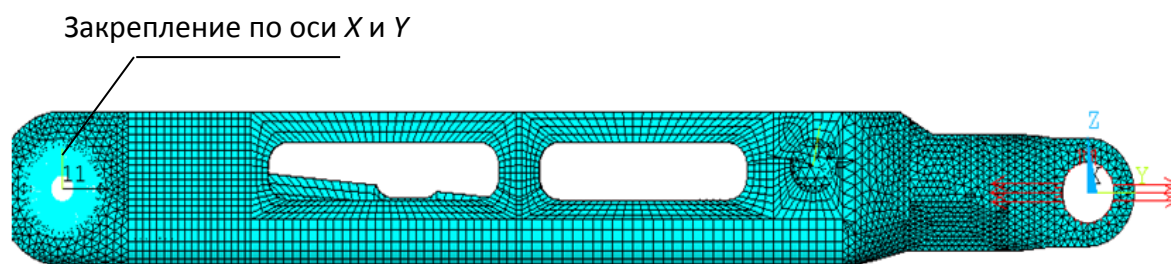


Рис. 1 – Расчетная схема опорной станины

УПРУГИЙ РАСЧЕТ

Разбиение модели выбиралось в зависимости от сложности модели. В деталях с простой геометрией использовалось упорядоченное разбиение, так как оно увеличивает точность решения задачи. Свободное разбиение применяли для компонентов со сложной формой, где нет возможности использовать упорядоченное разбиение.

Произведён ряд расчётов с различной дискретизацией модели. Полученные значения максимальных напряжений представлены в таблице, из которой видно, что полученные результаты сходятся. Расчёт конструкции без стержня является более корректным, так как в месте стержня напряжения являются локальными.

Таблица – Сходимость расчётов

Количество элементов	13849	14671	16873	23701	37192
	6	8	0	2	3
Максимальное напряжение (со стержнем), МПа	754,765	754,609	754,594	754,581	754,540
Максимальное напряжение (без стержня), МПа	574,665	573,981	573,932	573,910	573,902

В результате расчета получено максимальное эквивалентное напряжение величиной $\sigma = 583$ МПа. Запас прочности определен по пределу текучести и составляет $n = 1,35$.

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Расчет проводился в интервале времени от 0,1452 до 0,1462, при увеличении на каждом шаге момента M_z на 80 Н·м.

Конечно-элементная модель станины взята без изменения из статической части расчета.

В результате проведения расчета получены графики перемещения и напряжения, которые приведены на рисунках 4 и 5.

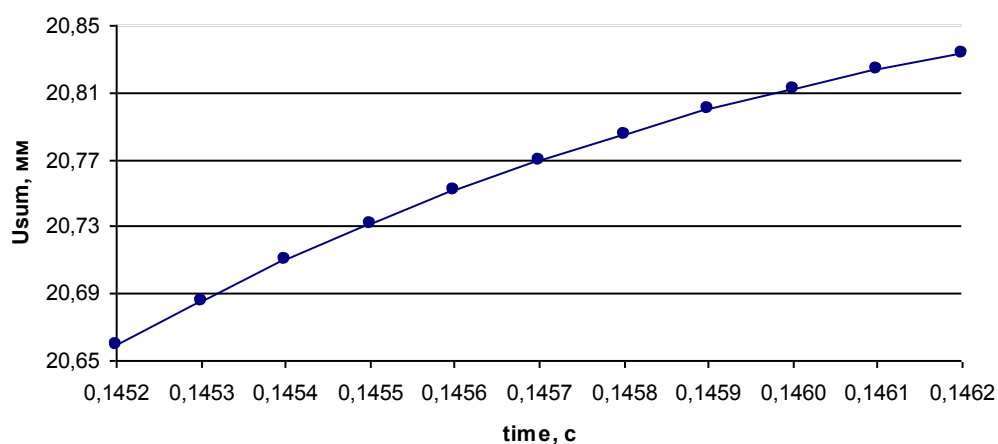


Рис. 4 – Изменение максимальных суммарных перемещений во времени

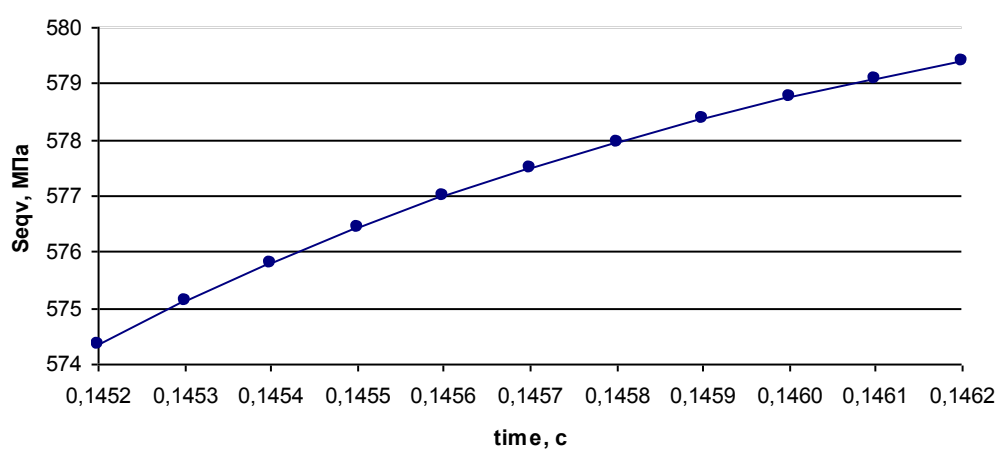


Рис. 5 – Изменение максимальных напряжений по Мизесу во времени

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРОВАНИЯ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ

Расчет проводился в момент времени $t = 0,1457$. Графики перемещений и напряжений, представленные на рисунках 6 и 7, представляют собой монотонно убывающую функцию.

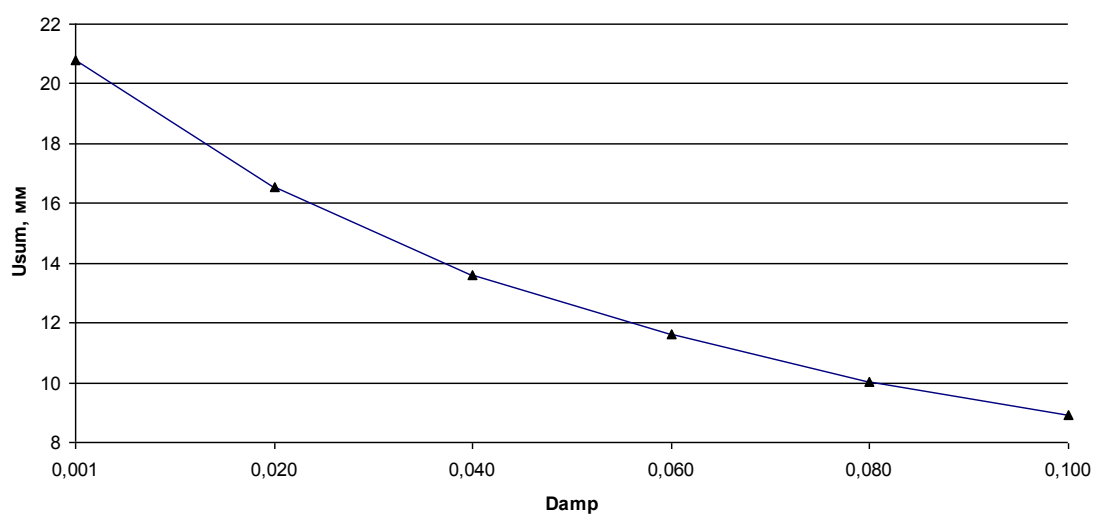


Рис. 6 – Зависимости максимальных суммарных перемещений от коэффициента демпфирования

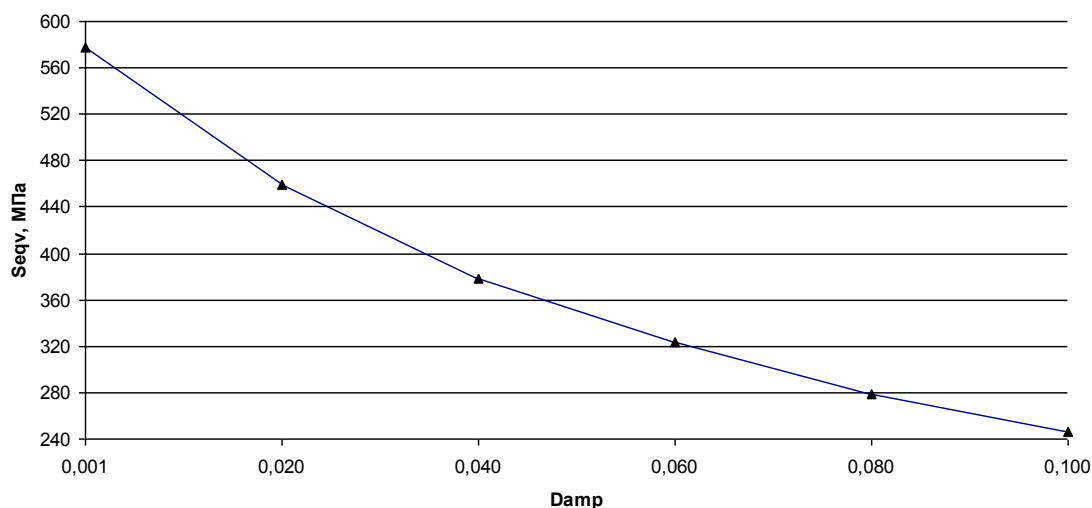


Рис. 7 – Зависимости максимальных напряжений по Мизесу от коэффициента демпфирования

ВЫВОДЫ

Построена и отлажена модель опорной станины самоходного орудия из изотропного упруго-пластичного материала стали 07ХЗГНМЮА, произведена конечно-элементная дискретизация модели.

Прочность станины удовлетворительна, запас прочности при этом составляет $n = 1,35$.

При исследовании коэффициента демпфирования установлено, что при увеличении коэффициента в станине уменьшаются напряжения и перемещения.

Данная конструкция станины обеспечивает орудью устойчивость и необходимый угол обстрела в рабочем состоянии.

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «ПНИПУ» при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. В составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

Список литературы

1. Богач А.А. Расчет прочности металлоконструкции трансформатора // CAE-Services. – С. 1–4.
2. Шевелев Н.А., Игнатьева Е.А., Пустосмехова М.Г. Численное моделирование динамического поведения экспериментальной оснастки в среде ANSYS // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2011. – №1. – С. 81–96.
3. Вылегжанин Д.В., Ремнева О.Ю., Горшков Б.М. Расчёт корпусных деталей технологических систем методом конечных элементов // Сборник научных трудов SWORLD – 2011. – Т.7. – №1. – С.43–46.
4. Сапожников С.Б., Кузьменко Б.П. Демпфирование колебаний тонких оболочек слоистыми покрытиями // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2010. – №2. – С. 98–104.
5. Сметанников О.Ю., Могильников К.А. Моделирование динамического поведения сложных механизмов в среде ADAMS-EASY5 // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №5. – С.54–58.
6. Губарева Е.А. Термоупругие контактные задачи для тел с покрытиями: автореф. дис. на соискание уч. степ. кандидата физ.-мат. наук. – Москва, 2007. – 26 с.
7. Никифоров А.Н. Проблемы колебаний и динамической устойчивости быстровращающихся роторов // Вестник научно-технического развития. – 2010. – №3. – С. 31–53.

01.04.02

П.И. Дергунов к.ф.-м.н.

Тверской государственный технический университет –
факультет природопользования и инженерной экологии, кафедра общей физики,
Тверь, etc-idpo@yandex.ru

МОЛЕКУЛЯРНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АДСОРБЕНТ-АДСОРБАТ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ

В работе рассматривается вопрос описания адсорбционного равновесия с учетом неинертности адсорбента. Предложена молекулярно-статистическая модель системы адсорбент – адсорбат, использующая межмолекулярные потенциалы парного взаимодействия для численных расчетов величины адсорбционной деформации адсорбентов.

Ключевые слова: адсорбционные явления, деформация адсорбента, конденсированное состояние, микропористые адсорбенты, межмолекулярные потенциалы парного взаимодействия.

Деформация адсорбента при адсорбции происходит под действием как внешних сил, приложенных к адсорбенту, так и внутренних, действующих на стенки пор. Однако, как отмечается в [3], в случае микропористых адсорбентов, основную роль играют внутренние силы.

Внутренние силы, вызывающие деформацию, связаны с взаимодействием молекул адсорбата с поверхностными атомами F_1 , молекул адсорбата друг с другом F_2 , а также ударами молекул адсорбируемого газа со стенками микропор вследствие их теплового движения F_3 :

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3. \quad (1)$$

Наиболее сложным для описания является взаимодействие адсорбированных молекул с внутренней поверхностью адсорбента. Оно может быть описано как взаимодействие молекул с твердыми поверхностями. Адсорбент и адсорбированные молекулы рассматриваются в этом случае как совокупность атомов – учитывается взаимодействие каждого атома поверхности с каждым атомом молекул адсорбата [4].

Для упрощения численных расчетов модель молекул газа можно заменить жесткой одноцентровой сферой с некоторыми эффективными параметрами взаимодействия, что позволит определять межмолекулярное взаимодействие с помощью простых сферически симметричных потенциалов парного взаимодействия:

$$U_{m-a} = \sum_{i=1}^{N_m} \sum_{j=1}^{N_a} u_{m,i-a,j}(|\mathbf{r}_{m,i} - \mathbf{r}_{a,j}|), \quad (2)$$

где N_m и N_a – число адсорбированных молекул и атомов; $u_{m,i-a,j}$ – потенциал парного взаимодействия, $\mathbf{r}_{m,i}$ и $\mathbf{r}_{a,j}$ – радиус-вектора i -й молекулы и j -го атома поверхности.

Учитывая особенности адсорбционных явлений в микропорах [2], вместо взаимодействия молекул адсорбата со всеми атомами поверхности, можно ограничиться рассмотрением взаимодействий с активными центрами, а более точно – участками поверхности поры, на которых возможна (или уже произошла) адсорбция молекул газа. Число таких участков определяется максимально возможным числом размещений адсорбируемых молекул газа в микропоре при данной температуре T . Потенциал взаимодействия одной адсорбированной молекулы в этом случае может быть найден следующим образом:

$$u_{m-acc} = \sum_{j=1}^{N_{acc}-1} u_{m-acc,j}(|\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_{acc,j}|) + u_{m-acc,0}(|\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_{acc,0}|), \quad (3)$$

где $N_{\text{ак}}$ – число активных центров; $u_{\text{м-ак},j}$, $u_{\text{м-ак},0}$, $r_{\text{ак},j}$ и $r_{\text{ак},0}$ – потенциалы парного взаимодействия с j -ым активным центром, а также участком поверхности, с которым молекула взаимодействует непосредственно и их радиус-вектора; $r_{\text{м}}$ – радиус-вектор рассматриваемой молекулы.

В случае, если молекулы адсорбата являются неполярными, в качестве потенциала парного взаимодействия можно выбрать потенциал Леннарда-Джонса (но может быть использован и любой другой, если его применение при расчетах будет более обоснованным):

$$u = 4\varepsilon_{ij} \left[\left(\sigma_{ij} / r \right)^{12} - \left(\sigma_{ij} / r \right)^6 \right], \quad (4)$$

где ε_{ij} – глубина потенциальной ямы; $\sigma_{ij}/2$ – эффективный радиус отталкивания; r – расстояние между взаимодействующими частицами.

Предполагая, что рассматриваемые взаимодействия осуществляются в потенциальном поле сил, можно перейти к искомой силе взаимодействия:

$$f = 4\varepsilon_{ij} \left[12\sigma_{ij}^{12} / r^{13} - 6\sigma_{ij}^6 / r^7 \right]. \quad (5)$$

Тогда, результирующий вектор силы, действующей на поверхность поры при попадании туда адсорбированной молекулы, может быть найден как

$$\mathbf{f}_1 = \sum_{j=1}^{N_{\text{ак}}-1} f_{\text{м-ак},j} (\mathbf{r}_{\text{м}} - \mathbf{r}_{\text{ак},j}) r_{\text{м-ак},j}^1 + f_{\text{м-ак},0} (\mathbf{r}_{\text{м}} - \mathbf{r}_{\text{ак},0}) r_{\text{м-ак},0}^1, \quad (6)$$

где через $\mathbf{r}_{\text{м-ак},j}^1 = (\mathbf{r}_{\text{м}} - \mathbf{r}_{\text{ак},j}) / |\mathbf{r}_{\text{м}} - \mathbf{r}_{\text{ак},j}|$ и $\mathbf{r}_{\text{м-ак},0}^1 = (\mathbf{r}_{\text{м}} - \mathbf{r}_{\text{ак},0}) / |\mathbf{r}_{\text{м}} - \mathbf{r}_{\text{ак},0}|$ обозначены единичные векторы направления взаимодействия; $f_{\text{м-ак},j}$ и $f_{\text{м-ак},0}$ – силы взаимодействия с j -ым активным центром и участком поверхности, с которым молекула взаимодействует непосредственно.

Взаимодействие молекул адсорбата друг с другом также можно рассчитать с помощью потенциала Леннарда-Джонса (4), определяя искомую силу взаимодействия по выражению (5). Для одной молекулы:

$$\mathbf{f}_2 = \sum_{i=1}^{N_{\text{м}}-1} f_{\text{м-м},i} (\mathbf{r}_{\text{м}} - \mathbf{r}_{\text{м},i}) r_{\text{м-м},i}^1, \quad (7)$$

где $\mathbf{r}_{\text{м-м},i}^1 = (\mathbf{r}_{\text{м}} - \mathbf{r}_{\text{м},i}) / |\mathbf{r}_{\text{м}} - \mathbf{r}_{\text{м},i}|$ – единичный вектор направления взаимодействия; $f_{\text{м-м},i}$ – сила взаимодействия с i -й адсорбированной молекулой.

При рассмотрении адсорбционной деформации в области низких температур величиной силы F_3 (1) в первом приближении можно пренебречь. Однако в случае необходимости для определения ее величины можно исходить из тех же рассуждений, что и в [1].

В случае упругой деформации адсорбента, учитывая составляющие сил, действующих по нормали к его внутренней поверхности, относительное изменение эффективного размера микропоры может быть найдено как

$$\Delta d / d = \frac{\sum f_i}{S_{\text{вп}} E}, \quad (8)$$

где $\sum f_i$ – сумма проекций действующих сил на направления перпендикулярные поверхности поры; $S_{\text{вп}}$ – площадь ее внутренней поверхности; E – модуль Юнга.

Чтобы перейти от величины $\Delta d / d$ к искомой величине относительной объемной деформации образца адсорбента $\Delta V / V$ или, в случае изотропной деформации, к относительной линейной деформации $\Delta l / l$, необходимо определить геометрическую форму пор и их распределение в рассматриваемом образце адсорбента.

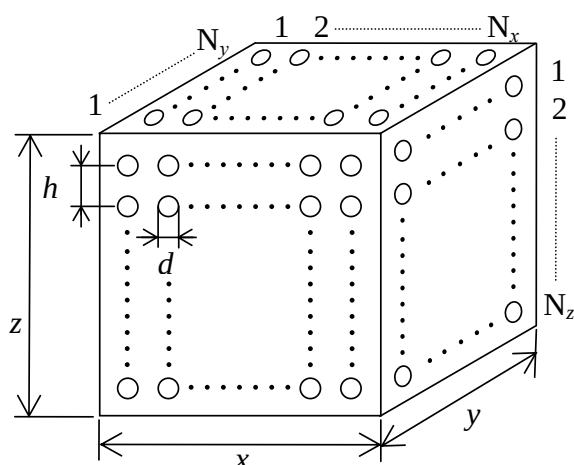


Рис. 1 – Структурная модель образца адсорбента

Если рассматриваемые адсорбенты имеют однородно-микропористую структуру, адсорбент можно рассматривать в виде параллелепипеда с равномерно распределенными непересекающимися цилиндрическими микропорами равного диаметра [2]. Его схематичное изображение представлено на рис. 1.

Можно показать, что при изотропной деформации изменение объема такого образца в условиях расширения (сжатия)

$$\Delta V = V_0 \left[(1 + \Delta l / l)^3 - 1 \right], \quad (9)$$

где V_0 – его начальный объем (при данной температуре).

Изменение объема микропор

$$\Delta V_{\pi} = V_0 k_{\pi,0} \left[(1 + \Delta l / l) (1 + \Delta d / d)^2 - 1 \right], \quad (10)$$

где $k_{\pi,0} = 3\pi d^2 k_{\pi} / 4h^2$ – начальная пористость адсорбента; d – начальный диаметр микропор; h – начальное расстояние между центрами микропор; k_{π} – коэффициент, учитывающий извилистость микропор.

Если плотность твердой фазы адсорбента является неизменной, справедливо равенство правых частей выражений (9) и (10):

$$(1 + \Delta l / l)^3 - 1 = k_{\pi,0} \left[(1 + \Delta l / l) (1 + \Delta d / d)^2 - 1 \right].$$

Поэтому в случае, когда относительная деформация имеет малую величину, выполняется приближенное равенство

$$\Delta l / l \approx (2k_{\pi,0} \Delta d / d) / (3 - k_{\pi,0} (1 + 2\Delta d / d)). \quad (11)$$

Таким образом, относительную линейную деформацию адсорбента можно считать линейно связанной с относительным изменением эффективного диаметра его микропор. Это позволяет при численных расчетах ограничиться детальным рассмотрением одной микропоры, определяя искомую величину $\Delta l / l$ по выражению (11).

При рассмотрении процесса адсорбции в микропорах их можно разбить на фрагменты, длина которых соответствует среднему расстоянию между активными центрами (при равномерном распределении последних). Предлагая последовательное заполнение адсорбатом всех фрагментов микропоры вначале по одной молекуле, затем – по две и так далее (до ее полного заполнения) (рис. 2).

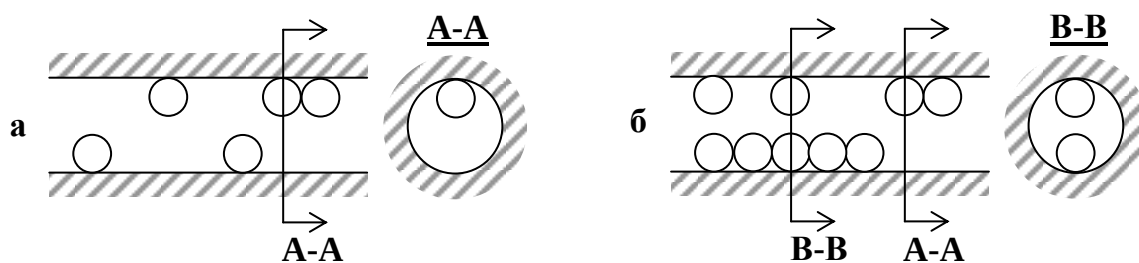


Рис. 2 – Предполагаемое заполнение микропоры адсорбента:
а – по одной молекуле; б – по две

Для получения оценки внутренних сил при таком подходе достаточно рассчитать и просуммировать силы, действующие на поверхность рассматриваемой микропоры в одном фрагменте (поскольку взаимодействия молекул адсорбата друг с другом и с активными центрами в разных фрагментах незначительны по величине или имеют преимущественное

направление вдоль оси микропоры).

Важным критерием применимости любой теоретической модели является адекватность полученных результатов моделирования данным экспериментальных исследований. С этой целью в было проведены численные расчеты величины адсорбционной деформации микропористого углеродного адсорбента АУК (для систем АУК – Ag, АУК – N₂ и АУК – CO₂). Несмотря на введенные допущения, наблюдалась хорошая сходимость полученных результатов особенно для невысоких температур (243 – 273 К). Расчеты величины адсорбционной деформации, проведенные для более высоких температур, показали, что в этом случае необходимо более точно учитывать тепловое движение адсорбированных молекул.

Список литературы

1. Дергунов П.И. Термодинамический подход к описанию деформации сорбентов// Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. №4. – С. 15-18.
2. Дергунов П.И. Термодинамическое поведение систем, содержащих микропористые адсорбенты и газы при высоких давлениях: дис. канд. физ.-мат. наук. – Тверь, 2006. – С. 56-67.
3. Дергунов П.И., Скоробогатов А.М., Твардовский А.В. Термодинамическая модель деформации сорбентов// Интеграция науки и образования – производству, экономике. – Тверь: ТвГТУ, 2012, С. 72 – 76.
4. Кроуэлл А. Силы взаимодействия между молекулами газа и поверхностью твердого тела.- В кн. Межфазовая граница газ – твердое тело. –М.: Мир, 1970.- С. 150-171.

01.04.02

П.И. Дергунов к.ф.-м.н.

Тверской государственный технический университет –
факультет природопользования и инженерной экологии, кафедра общей физики,
Тверь, etc-idpo@yandex.ru

ТЕОРИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АДСОРБЕНТА С УЧЕТОМ ЕГО ДЕФОРМАЦИИ

В работе рассматривается вопрос описания адсорбционного равновесия с учетом неинертности адсорбента. Предложен подход к определению термодинамических характеристик адсорбента. Показана необходимость учета деформационных явления при адсорбции.

Ключевые слова: *адсорбционные явления, деформация адсорбента, конденсированное состояние, микропористые адсорбенты, термодинамические характеристики.*

Рассмотрение адсорбента абсолютно инертным предполагает, что адсорбируемые молекулы не возмущают адсорбент и все его термодинамические характеристики остаются неизменными в процессе адсорбционных взаимодействий. Влияние возможной неинертности адсорбента на термодинамические характеристики адсорбционных систем мало изучено. Задача определения термодинамических характеристик неинертного адсорбента практически не решалась, исключение составляют лишь адсорбционно-калориметрические эксперименты [3]. В связи с этим следует отдельно отметить работы, в которых были предложены общие соотношения, которые можно использовать для расчетов изменения термодинамических функций сорбентов. Так, в работах [1, 5] получены указанные соотношения для пористых адсорбентов в случае адсорбции из парогазовой среды, в работе [4] – для полимерных сорбентов, находящихся в контакте с газом при высоких давлениях.

Для определения изменений термодинамических характеристик адсорбента – удельной энтропии ΔS и удельной внутренней энергии ΔU при контакте с газами в [5] были предложены следующие уравнения, полученные феноменологическим путем:

$$S - S^* = C_v \ln\left(\frac{T}{T^*}\right) + \frac{\beta M(V^2 - (V^*)^2)}{2V_0}, \quad (1)$$

$$U - U^* = C_v(T - T^*) + \frac{M((V - V_0)^2 - (V^* - V_0)^2)}{2V_0}, \quad (2)$$

где V^* , T^* , S^* , U^* – параметры некоторого произвольного состояния (V^* , S^* и U^* – удельные характеристики); C_v – молярная теплоемкость адсорбента при постоянном объеме; β – коэффициент объемного температурного расширения твердого тела; M – модуль его всестороннего расширения (сжатия); V_0 – удельный объем адсорбента при $T = 0$ К; V и T – соответственно текущий (удельный) объем образца и температура.

Анализ записанных выражений показывает, что для проведения расчетов, например, с целью получения кривых $\Delta S = f(a)$ и $\Delta U = f(a)$ в общем случае должны быть известны как индивидуальные характеристики адсорбента: C_v , M , β , и V_0 , так и данные по изменению его объема в ходе адсорбции $V = f(a, T)$, зависящие также от физико-химических свойств адсорбата. Отметим, что необходимые данные могут быть получены, например, в результате физического или адсорбционно-численного эксперимента. Для случая инертного адсорбента, т.е. при $V = \text{const.}$, согласно (1) и (2), как и следовало ожидать, изменений

термодинамических характеристик адсорбента в результате адсорбционных взаимодействий происходить не будет.

Как известно, существуют точные методы измерения C_v в широком интервале температур. В том случае, если экспериментальные данные, необходимые для определения теплоемкости в твердом состоянии не доступны, для ее оценки можно использовать и ряд приближенных эмпирических правил. Одним из таких правил является правило Дюлонга и Пти – молярная теплоемкость при постоянном объеме для любого простого вещества не зависит от температуры и приблизительно равна $C_v \approx 25.1$ Дж/(моль·К).

Если расчеты изменений термодинамических функций адсорбента – удельной энтропии ΔS и удельной внутренней энергии ΔU проводить в изотермических условиях, т.е. при $T = T^*$, первые слагаемые в правой части выражений (1) и (2) обращаются в ноль: $C_v \ln(T/T^*) = 0$ и $C_v(T - T^*) = 0$, поэтому

$$S - S^* = \frac{\beta M (V^2 - (V^*)^2)}{2V_0}, \quad (3)$$

$$U - U^* = \frac{M ((V - V_0)^2 - (V^* - V_0)^2)}{2V_0}. \quad (4)$$

Таким образом, если в качестве параметров некоторого произвольного состояния выбрать характеристики адсорбента, соответствующие его состоянию в вакууме (нулевой величине адсорбции a) при данной температуре T , можно утверждать что форма определяемых изменений термодинамических характеристик адсорбента в случае малых деформаций будет повторять форму так называемых изотерм относительной деформации исследуемого образца.

На рисунках 1 и 2 представлены рассчитанные с помощью соотношений (3) и (4) изменения термодинамических характеристик микропористого углеродного адсорбента АУК, результаты адсорбционных и дилатометрических исследований деформации которого в широком интервале давлений и температур представлены в [2, 6].

Указанный образец угля АУК был получен из карбида кремния при температуре $T = 900$ К путем извлечения кремния в потоке хлора с выделением SiCl_4 . Исследование адсорбции и адсорбционной деформации на данном адсорбенте представляет особый интерес, поскольку, как отмечается в [6], в нем отсутствуют мезопоры и невелика поверхность макропор.

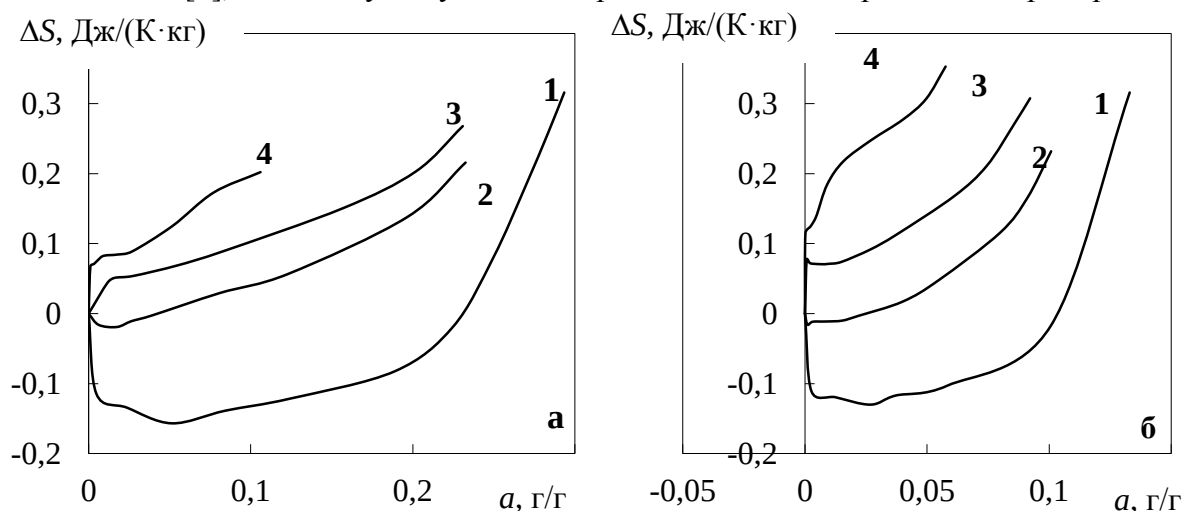


Рис. 1 – Изменения удельной энтропии угля типа АУК при адсорбции:
 a – аргона; $б$ – азота; 1 – $T = 243$ К; 2 – 293 К; 3 – 313 К; 4 – 393 К

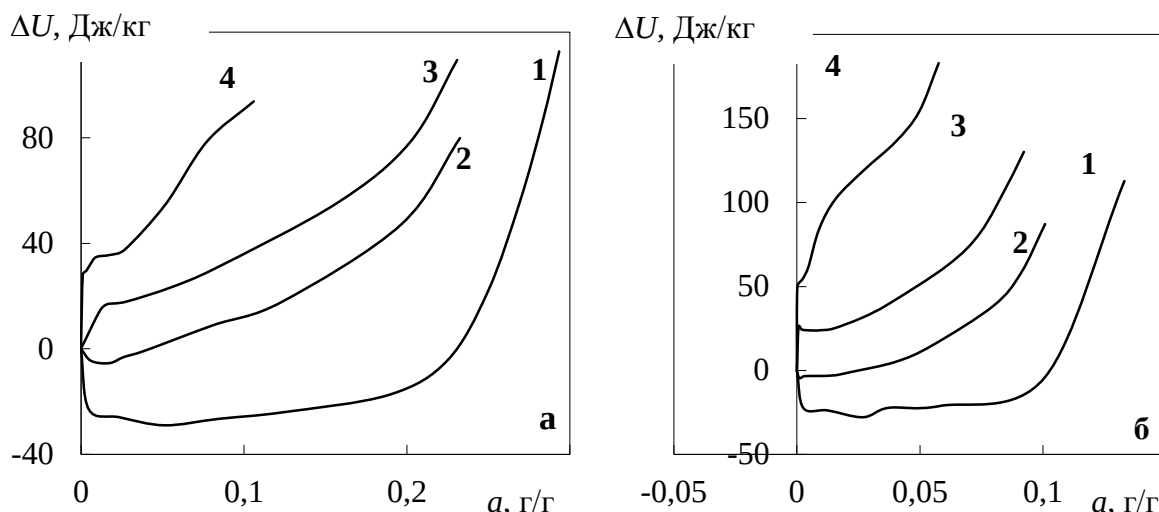


Рис. 2 – Изменения удельной внутренней энергии угля типа АУК при адсорбции: *а* – аргона; *б* – азота; 1 – $T = 243$ К; 2 – 293 К; 3 – 313 К; 4 – 393 К

В связи с условиями подготовки, согласно [2, 6], адсорбент являлся изотропным, а деформации – упругими. Выполнялся основной критерий упругих деформаций: после снятия внешней нагрузки – десорбции до величины давления равновесной газовой фазы $p_{\text{газ}} \approx 0$ твердое тело принимало прежние размеры. Характеристики угля, которые использовались при расчетах, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики угля АУК [6]

Модуль всестороннего расширения (сжатия) M , Па	Коэффициент объемного температурного расширения β , K^{-1}	Удельный объем при $T = 0$ К V_0 , $\text{м}^3/\text{кг}$
10^{10}	$1.28 \cdot 10^{-5}$	$8.302 \cdot 10^{-4}$

Объем адсорбента (до начала деформации) рассчитывался с помощью формулы объемного температурного расширения твердых тел

$$V^*(T) = V_0(1 + \beta T). \quad (5)$$

Кривые относительной линейной деформации $\Delta l/l = f(a)$ угля АУК при адсорбции Ar и N_2 изображены на рис. 3 [2, 6].

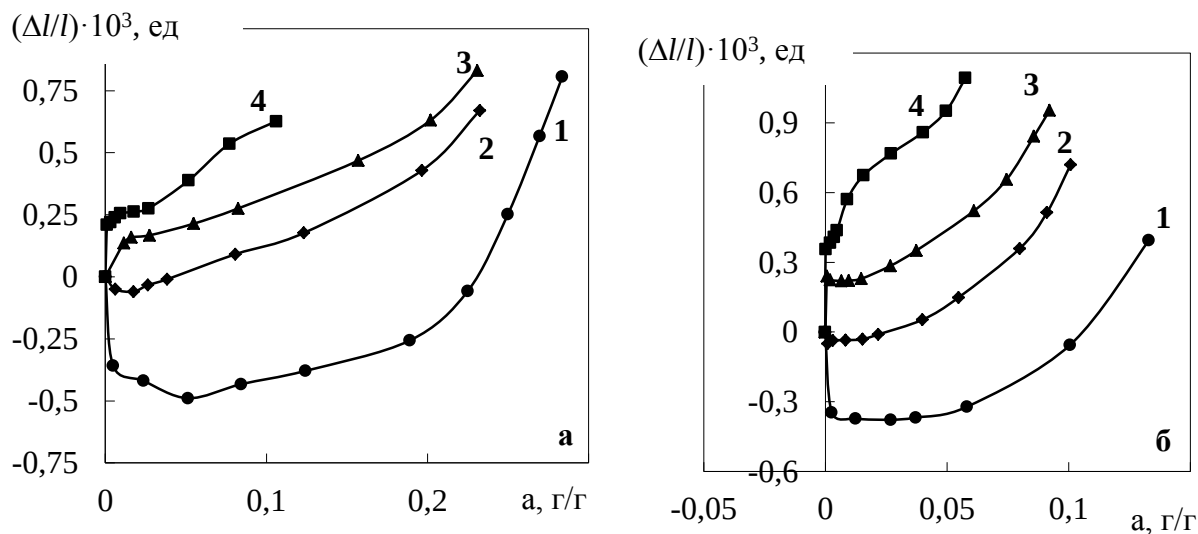


Рис. 3 – Экспериментальные изотермы относительной деформации $\Delta l/l$ микропористого углеродного адсорбента АУК при адсорбции:

а – аргона; *б* – азота; 1 – $T = 243$ К; 2 – 293 К; 3 – 313 К; 4 – 393 К

С учетом факта изотропной деформации образца адсорбента его текущий объем определялся с помощью выражения:

$$V = V^* \left(1 + \frac{\Delta l}{l} \right)^3. \quad (6)$$

Полученные и приведенные на рис. 1 и 2 зависимости наглядно показывают, что в системах, содержащих микропористые адсорбенты и газы, в результате адсорбционных взаимодействий происходит изменение термодинамических характеристик адсорбента, потому адсорбент должен рассматриваться равноправным участником адсорбционного процесса.

Анализ кривых изменения удельной энтропии и удельной внутренней энергии позволяет сделать вывод о том, что неинертность адсорбента (даже при небольших деформациях) может оказывать существенное влияние на определяемые посредством адсорбционных и калориметрических экспериментов термодинамические характеристики адсорбционных систем.

Список литературы

1. Dreisbach F., Staudt R., Keller J.U. High pressure adsorption data of methane, nitrogen, carbon dioxide and their binary and ternary mixtures on activated carbon// Adsorption. – 1999. – No. 5. – P. 215-227.
2. Yakovlev V.Yu., Fomkin A.A., Tvardovski A.V. Adsorption and deformation phenomena at interaction of N₂ and microporous carbon adsorbent// J. Col. Int. Sci. – 2003. – Vol. 280. – P. 305-308.
3. Пулин А.Л., Фомкин А.А. Термодинамика адсорбции диоксида углерода на цеолите NaX в широких интервалах давлений и температур// Изв. АН. Сер. хим. – 2004. – №8. – С.1570-1573.
4. Скоробогатов А.М., Твардовский А.В. Расчет основных термодинамических характеристик стеклообразных полимерных сорбентов при сорбции газов// Теоретические проблемы химии поверхности, адсорбции и хроматографии: X Межд. конф. – М., 2006. – С. 176.
5. Твардовский А.В. Термодинамическое описание сорбционных процессов в набухающих системах// Изв. АН. Сер. хим. – 1992. – №1. – С. 1673-1676.
6. Яковлев В.Ю. Фомкин А.А., Твардовский А.В., Сеницын В.А., Пулин А.Л. Адсорбционно-стимулированная деформация микропористого углеродного адсорбента// Изв. АН. Сер. хим. – 2003. – №2. – С. 338-342.

01.01.06

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Саровский физико-технический институт, кафедра высшей математики
г. Саров, vvdr@newmail.ru

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО И РАСШИРЕНИЕ ГИПОТЕЗЫ ЛЕЖАНДРА В ТЕОРИИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Аналитически доказано, что между двумя квадратами последовательных натуральных чисел, а также некоторыми другими числами, находится хотя бы одно простое число. Доказательство основано на выделении двух буферных зон на классическом решете Эратосфена и применении функции Эйлера о взаимно простых числах.

Ключевые слова: решето Эратосфена, буферные зоны, сумма арифметических прогрессий, гипотеза Лежандра.

Гипотеза или вопрос Лежандра был сформулирован 200 лет тому назад в 1808 г.: на любом ли интервале $(n^2, (n+1)^2)$, где $n \in \mathbb{N}$ – натуральное число, находится хотя бы одно простое число p (ПЧ)? В 25 томе энциклопедии «Мир математики» от 2014 г. говорится, что эта гипотеза аналитически до сих пор не доказана, несмотря на многочисленные попытки [1-3]. Краткое доказательство того, что на любом таком интервале есть ПЧ, приведено Дружининым [4]. В данной статье приводится более подробное и глубокое решение этого вопроса, а также рассмотрены другие интервалы на $\mathbb{N}$, обязательно содержащие хотя бы одно ПЧ.

Нами развит метод создания супер-решеток Эратосфена, использования теоремы о наложении нескольких арифметических прогрессий (АП) и применения теории вероятностей. При этом нами впервые доказаны гипотезы: бесконечность количества пар-близнецов, пар-четверок, квартетов ПЧ [5-7], Эйлера-Гольдбаха [8]. Этот подход почти мгновенно доказывает и гипотезу Лежандра.

Запишем математическую формулировку классического решета Эратосфена на $\mathbb{N}$, работая тут и далее только с нечетными числами. Имеет место наложение бесконечного набора АП вида $s(p_m, k) = p_m + 2p_m \cdot k$, $k \in \mathbb{N}$, на числовую ось и удаление этих составных чисел. Процесс начинается с $p_1 = 3$. Нумерация ПЧ идет в порядке возрастания ПЧ $\{p_1 = 3; p_2 = 5; p_3 = 7; p_4 = 11; \dots\}$. Если взять набор первых $(d+1)$ ПЧ $a_{d+1} = \{p_1; p_2; p_3; p_4 = 11; \dots; p_d; p_{d+1}\}$, то можно выделить на $\mathbb{N}$ два важных отрезка – две буферные зоны. Первая буферная зона $A(d) = [p_d, p_{d+1}^2 - 2]$. Характерная особенность $A(d)$ состоит в том, что, если мы удалили все $s(p_m, k)$, где $1 \leq m \leq d$ на этом отрезке, то все оставшиеся числа на $A(d)$ есть ПЧ, т. е. первое не удаленное число p_d дает не только новое ПЧ, но также целый набор ПЧ на отрезке $A(d)$.

Вторая буферная зона $B(d) = [3, T_d]$, где $T_d = \prod_{k=1}^d p_k$ – произведение всех ПЧ из a_d . Функция Эйлера

$$\varphi(T_d) = T_d \left\{ \left(1 - \frac{1}{p_1}\right) \left(1 - \frac{1}{p_2}\right) \dots \left(1 - \frac{1}{p_d}\right) \right\} = \prod_{k=1}^d (p_k - 1) \quad (1)$$

дает количество чисел (четных и нечетных) на отрезке $[1, T_d]$ взаимно простых с каждым ПЧ из a_d . Мы использовали эту теорему с некоторым расширением в [5], называя ее теоремой о наложении АП. Если мы берем $B(d)$ и учитываем там только нечетные числа, то функция Эйлера записывается в виде

$$\varphi([3, T_d]) = \left(\left(\prod_{k=1}^d (p_k - 1) \right) - 2 \right) / 2. \quad (2)$$

Теорема о наложении АП $s(p_m, k)$ [6] утверждает, что на отрезке $B(d)$ количество, не удаленных этими АП чисел, точно равно $S(B(d)) = ((\prod_{k=1}^d (p_k - 1)) + 2(d - 1))/2$. Всего нечетных чисел на $B(d)$ находится $N(B(d)) = (T_d - 1)/2$. Следовательно, вероятность обнаружения не удаленного таким образом нечетного числа на $B(d)$ есть

$$\omega(B(d)) = \frac{S(B(d))}{N(B(d))} = \frac{(\prod_{k=1}^d ((p_k - 1) + 2(d - 1)))}{T_d - 1}. \quad (3)$$

Сразу же отметим, что не все оставшиеся числа на $B(d)$ при $d \geq 4$ есть ПЧ. Составные числа появляются на $B(d)$, начиная с p_{d+1}^2 , которое никак не удаляется набором a_d . Если мы рассматриваем отрезок $[p_d, p_{d+1}^2 - 2]$, т.е. первую буферную зону $A(d)$, которая содержит не удаленными только ПЧ, то вероятностное количество $\tilde{S}$ ПЧ на нем при больших d есть

$$\tilde{S}(A(d), p) = ((p_{d+1}^2 - p_d)/2) \{(\prod_{k=1}^d (1 - (1/p_k))) + (2d/T_d)\}. \quad (4)$$

Пример. Пусть $d = 4$, $p_4 = 11$, $p_5 = 13$ имеем $A(4) = [11, 167]$, $B(4) = [3, 1155]$, $N(B(4)) = 577$. Количество нечетных чисел на отрезке $[N_1, N_2]$, где N_1 и N_2 нечетные числа определяется формулой $S([N_1, N_2]) = ((N_2 - N_1 + 2)/2)$. Точное количество, не удаленных первыми четырьмя АП на $A(4)$ чисел $S(A(4), p) = 35$, и все они по определению ПЧ. Количество не удаленных чисел на $B(4)$ $S(B(4)) = 4 \cdot 6 \cdot 10 + 4 - 1 = 243$. Среди них есть как составные числа, так и ПЧ, большие «119». Вероятность обнаружить не удаленное число на $B(4)$ есть $\omega(B(4)) = 243/577 \approx 0,421$. Поскольку на $A(4)$ все не удаленные числа есть ПЧ, то вероятностное количество ПЧ на этом отрезке $\tilde{S}(A(4), p) = 79 \cdot 0,421 = 33,36$. Это значение близко к точной величине «35» и несколько меньше.

Аналитическое рассмотрение и наши численные расчеты вплоть до 10^9 подтверждают неравенство $S((n^2, (n + 1)^2), p) > \tilde{S}((n^2, (n + 1)^2), p)$, т.е. точное число ПЧ на интервале $(n^2, (n + 1)^2)$ больше вероятностного значения количества ПЧ. Например, при $n = 1046$ на интервале $(n^2, (n + 1)^2) = (1094116, 1096209)$ точное число ПЧ «155», рассчитанное по теории вероятностей «84,46».

Ключевой момент доказательства гипотезы Лежандра идет от противного. Пусть на интервале $D(n) = (n^2, (n + 1)^2)$ нет ПЧ. Значит, существует система неравенств в буферной зоне $A(d)$

$$p_d < n^2 < (n + 1)^2 < p_{d+1}. \quad (5)$$

Количество нечетных чисел на $D(n)$ подлежащих анализу есть n . Поэтому число ПЧ на нем по теории вероятностей равно

$$\tilde{S}(D(n), p) = n \cdot \{(\prod_{k=1}^d (1 - (1/p_k))) + (2 \cdot d/T_d)\}. \quad (6)$$

Поскольку численно гипотеза Лежандра подтверждена до $n \leq 10^{10}$, то беря величины большие n , можно пренебречь вторым слагаемым в фигурной скобке (6). Далее несколько преобразуем $\delta(d) = \prod_{k=1}^d (1 - (1/p_k))$. Так как $\ln(\delta(d)) = \sum_{k=1}^d \ln(1 - (1/p_k))$, мы можем использовать следующую систему соотношений

$$\ln\left(1 - \frac{1}{p_k}\right) = -\sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{t} \left(\frac{1}{p_k}\right)^t > -\sum_{t=1}^{\infty} \left(\frac{1}{p_k}\right)^t = -\frac{1}{p_k - 1} > -\frac{2}{p_k}. \quad (7)$$

Используя асимптотическое равенство Лежандра-Чебышёва [3]

$$\sum_{k=1}^d \frac{1}{p_k} = \ln(C_d \ln(p_d)), \quad (8)$$

при $\lim_{d \rightarrow \infty} C_d = C \in \mathbb{R}$ находим, что число ПЧ на интервале Лежандра по теории вероятностей определяется неравенством

$$\tilde{S}(D(n), p) > \frac{n}{C^2 \ln^2 p_d}. \quad (9)$$

По условию неравенства (5) имеем $\sqrt{p_d} < n$, следовательно, неравенство (9) можно усилить, и это дает

$$S((n^2, (n + 1)^2), p) > \tilde{S}(D(n), p) > \frac{\sqrt{p_d}}{C^2 \ln^2 p_d}. \quad (10)$$

При росте n и, следовательно, росте p_d правая часть неравенства монотонно растет, т.е. число ПЧ на интервале (p_d, p_{d+1}) , где их по предположению не должно быть, возрастает и

стремится по правилу Лопиталья к бесконечности. Это противоречие доказывает справедливость гипотезы или вопроса Лежандра о том, что на интервале $D(n)$ на всей числовой оси попадет хотя бы одно ПЧ. Реально количество ПЧ на $D(n)$ в среднем возрастает с небольшими отклонениями изредка в меньшую сторону на величину не более 5%. Например, при $n = 1046$ имеем 155 ПЧ, а при $n = 1047$ имеем 147 ПЧ.

Расширим гипотезу Лежандра, перейдя к более узкому интервалу $K(n) = (n^2, n(n+1))$. Числа, которые могут быть ПЧ, находятся на отрезке $[n^2 + 1$ (или 2), $n(n+1) - 1]$ и их число $\{n/2$ или $((n-1))/2\}$ в зависимости от чётности или нечётности n . В этом случае область поиска ПЧ сужается по сравнению с предыдущим случаем в два раза. Выше приведенный анализ приводит к вероятностному числу ПЧ на таком интервале к неравенству для числа ПЧ на $K(n)$

$$\tilde{S}(K(n), p) > \frac{\sqrt{p_d}}{2C^2 \ln^2 p_d}, \quad (11)$$

в котором правая часть с ростом p_d стремится к бесконечности. При этом не везде выполняется соотношение $S(K(n), p) > \tilde{S}(K(n), p)$. Прямой численный расчет вплоть до $n = 10^9$ дает число ПЧ $S(K(n), p) > 1$. В таблице № 1 приведено соотношение между числом ПЧ и n .

Из таблицы видно, что с ростом n в среднем происходит рост числа ПЧ на $K(n)$. Хотя рост не монотонный, но отклонения в сторону уменьшения меньше 10% и с ростом n этот процент уменьшается. Именно рост количества ПЧ на $K(n)$ при прямых расчетах и вероятностное значение (11) приводит нас к выводу, что на любом интервале $K(n)$ имеется хотя бы одно ПЧ.

Таблица №1. Наибольшее число n , содержащее S ПЧ в $K(n)$.

$S(K(n)p)$	17	23	37	77	51	80	73	119	137	118	143	177	173	194	164	209
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
261	257	235	293	313	297	338	337	425	360	416	421	436	487	451	461	536
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
514	532	545	511	558	636	611	618	696	678	748	673	683	723	823	799	739
34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

Авторы благодарят проф., д.ф.м.н., начальника отдела РФЯЦ-ВНИИЭФ Ю. Н. Дерюгина за обсуждение и поддержку.

Список литературы

1. Хоакин Наварро. Неуловимые идеи и вечные теоремы. Мир математики, т. 25, с. 58, Москва De Fgostini, 2014
2. Сизый С. В. Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТГИЗ, 2007.
3. Dicson L.E. History of the Theory of Numbers, v. II, CPC, NewYork, 1971.
4. Drushinin V. V. Austrian JTNS, № 7-8, 2014, p.18-19.
5. Дружинин В. В. НТВП, 2014, № 1, стр.22.
6. Drushinin V.V., Lazarev A. A., Sirotkina A.G. Life Science Journal, 2014, 11(10s), p. 346.
7. Дружинин В.В., Лазарев А.А. НТВП, 2014, № 4, стр.19.
8. Дружинин В. В. НТВП, 2014, № 3, стр.14.

01.04.07

¹Р.А. Кастро, ¹Е.Н. Лушин, ²Е.А. Пазников, ¹В.Н. Пак, ²П.В. Петреков¹Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
г. Санкт-Петербург, lushin.ev@gmail.ru²Бийский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
г. Бийск, prpv.bti@mail.ru**ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ
ПОЛИ-N-МЕТИЛАЛЛИЛ-5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛА**

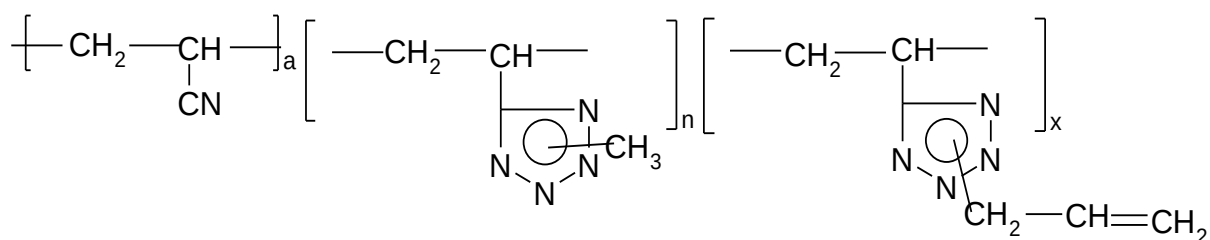
В работе исследованы свойства композиционных материалов на основе поли-N-метилаллил-5-винилтетразола (МПВТ-А), полученных с использованием различных отвердителей, и возможности химического модифицирования для повышения их термостойкости. Обнаружено, что введение в полимерную матрицу МПВТ-А наполнителей KCl и KNO₃ приводит к стабилизации структуры и снижению потерь массы при повышении температуры.

Ключевые слова: полимер, тетразол, тепловые эффекты.

Химическое модифицирование служит одним из наиболее действенных способов придания полимерам свойств, отвечающих требованиям и условиям их применения. Так, использование простого метода включения в структуру полимерной матрицы наполнителей неорганической природы позволяет осуществить направленные изменения целевых параметров получаемых полимерных композитов. Одной из важнейших задач, решаемых таким способом, является повышение термической стойкости полимеров и связанное с этим максимальное снижение газовых выбросов при повышении температуры. В числе методов, реализующих комплексное исследование указанных свойств, могут быть успешно использованы термогравиметрия (ТГ) и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Качество и объем получаемой при этом информации, как части полного представления о свойствах модифицированных полимеров, в значительной степени зависят от чувствительности и точности используемых инструментов.

В настоящем сообщении приведены результаты применения методов ТГ и ДСК в исследовании полимеров на основе поли-N-метилаллил-5-винилтетразола (МПВТ-А), полученных с использованием различных отвердителей, и возможностей химического модифицирования для повышения их термостойкости.

Исходный полимер МПВТ-А соответствовал требованиям технических условий – табл. 1 [1]. В схеме, отражающей состав и строение полимерной цепи



a=10%, n = 87% и x =3%.

Таблица 1- Свойства полимера МПВТ-А (партия 13/91)

Летучие вещества, %	5.02
NH кислоты, %	0.05
Катионы щелочных металлов, %	0.07
Характеристическая вязкость, %	0.63
Аллильные группы, %	2.08

В качестве отвердителей использованы динитрилоксидные производные алкилбензола – ди-N-оксид-1,3-динитрил-2,4,6-триэтилбензола (*ТОН-2*), ди-N-оксид-1,4-динитрил-2,5-диметоксибензола (*MeO-ТОН*) и ди-N-оксид-1,4-динитрил-2,3,5,6-тетраметилбензола (*Дур-ТОН*), особенности и эффективность действия которых в случае тетразолсодержащих полимеров были установлены ранее [2]. При выборе хлорида и нитрата калия в качестве добавок/наполнителей предполагали возможным упрочнение полимерной сетки под влиянием дополнительных ион-дипольных взаимодействий. Кроме того, известно [2-4], что в конденсированных системах нитрат калия может выполнять роль окислителя, а хлорид калия – охлаждающей добавки.

ТГ и ДСК измерения проведены в ресурсном центре СПбГУ "Термогравиметрические и калориметрические методы исследования" с использованием термомикровесов «*Netzsch TG 209 F1 Libra*» с автосемплером и дифференциального сканирующего калориметра высокой чувствительности «*Netzsch DSC 204 F1 Phoenix*».

Близкое подобие кривых потери массы в случае не наполненных образцов МПВТ-А, полученных с применением различных отвердителей (рис. 1) соответствует данным [2] о едином механизме и однородности плотности сшивки поперечных связей макромолекул в полимере. Вид полученных зависимостей ТГ позволяет обозначить температурные границы стадий снижения массы и величины потерь на каждой из стадий.

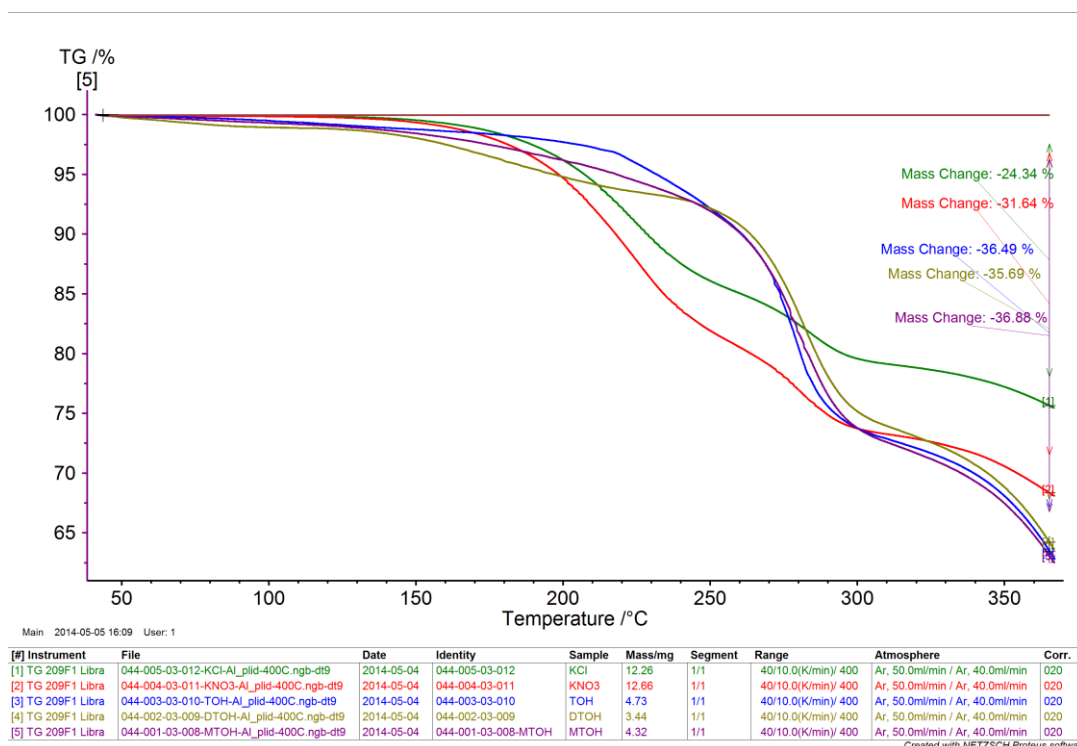


Рис. 1- Снижение массы навесок по мере повышения температуры в случае полимеров, полученных с использованием отвердителей *ТОН-2* (—), *MeO-ТОН* (—), *Дур-ТОН* (—) и солевых добавок *KCl* (—) и *KNO₃* (—)

Наблюдаемые в диапазоне 50–150°C незначительные потери массы определяются удалением из полимера летучих веществ, доля которых составляет ~5 % (табл. 1). На

следующем затем этапе 150–250°C темп снижения массы заметно возрастает, что может быть связано с разрушением метильных и винильных фрагментов макромолекул полимера (рис. 1, табл. 1). Кроме того, в работах [3,4] показано, что взаимодействие отвердителей с полимером протекает ступенчато, а именно, вначале образуются так называемые «активные подвески» отвердителя к полимерной цепи, а затем – их взаимодействие с функциональными группами. Не исключено, в связи с этим, что ход кривых в интервале 150–250°C может быть связан и с разрушением «подвесок» отвердителя, не прореагировавших с полимером. Резкое падение массы до ~72% на третьем этапе (250–300°C), по всей видимости, определяется выделением летучих компонентов пластификатора, остаточная доля которого в образцах может составлять до 50%. И, наконец, четвертая стадия (300–350°C) прогрессирующей потери массы до ~60 % отвечает разрушению вулканизационной сетки полимера.

Рассмотрим теперь изменения зависимостей ТГ при введении в структуру полимера наполнителей – KNO₃ и KCl в количестве 55% и 70% соответственно, от массы полимерной связки. В результате модифицирования полимерной матрицы МПВТ-А снижение массы при нагреве в интервале 200–300°C происходит с большей скоростью (рис. 1). Однако, в конечном итоге (при T = 350°C) общие потери оказываются заметно меньше в сравнении с исходными образцами, что свидетельствует о стабилизирующем в целом действии солевых добавок на структуру полимера.

Важно отметить, что в результате модифицирования достигается заметное снижение количества летучих веществ, удаляемых в интервале умеренных температур (рис. 1). В согласии с этим находятся результаты дифференциальной сканирующей калориметрии. – На рис. 2 приведены соответствующие зависимости в случае полимера, модифицированного хлоридом калия (аналогичный ход кривых наблюдается для всех исследованных образцов). Несмотря на низкие значения тепловых эффектов, регистрируемых в области T ≤ 100°C, хорошо видно, что кривая ДСК при повторном прогреве образца проходит значительно выше первоначальной. Область, формируемую между двумя этими кривыми, можно трактовать как тепловой эффект, сопровождающий удаление летучих веществ из полимеров, а следовательно, и их относительную термическую устойчивость. Рассчитанные значения площадей под кривыми ДСК первичного и вторичного нагрева (S₁ и S₂) и соответствующие тепловые эффекты (ΔS) приведены в таблице 2 для всех образцов в сравнении с общими потерями массы при термообработке (Δm).

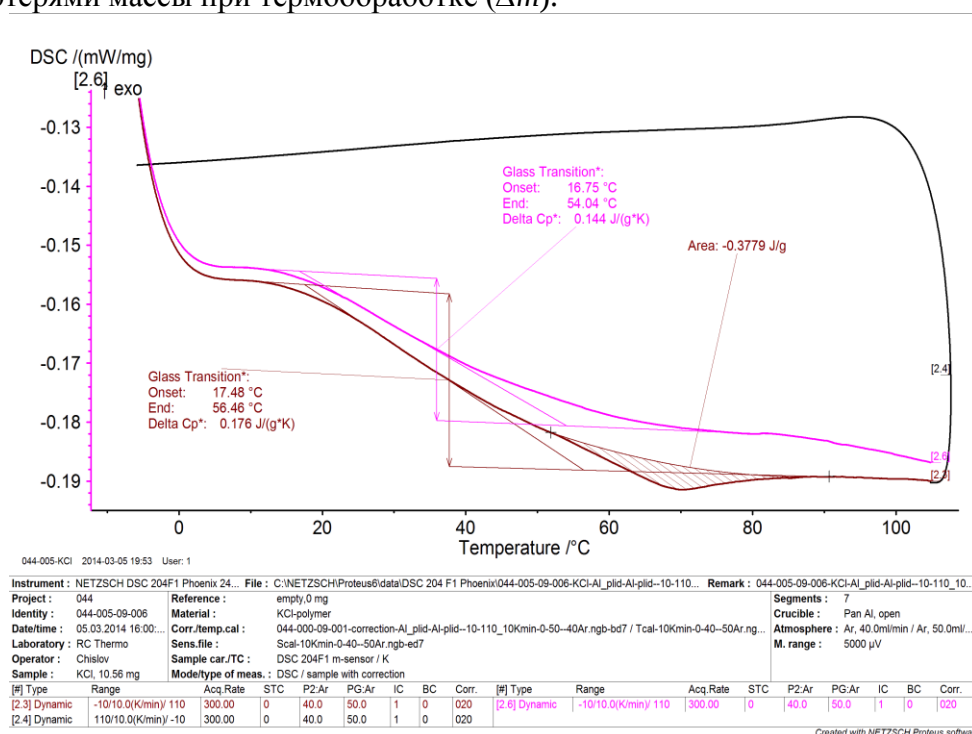


Рис. 2- Температурные зависимости удельного теплового потока в случае первичного (коричневая кривая) и повторного прогрева (красная кривая)

Таблица 2- Соответствие значений относительных тепловых эффектов и потерь массы при термообработке полимеров

Полимер (отвердитель) модификатор	S_1 , мВт/мг	S_2 , мВт/мг	ΔS , мВт/мг	Δm , %
МПВТ-А (MeO-TOH)	23.80	21.05	2.75	36.9
МПВТ-А (TOH-2)	24.19	21.50	2.69	36.5
МПВТ-А (Дур-TOH)	16.14	13.86	2.28	35.7
МПВТ-А (TOH-2) KNO ₃	14.60	12.79	1.81	31.6
МПВТ-А (TOH-2) KCl	14.54	14.05	0.49	24.3

Согласованность изменения рассчитанных значений отчетливо просматривается в ряду исследованных систем. Таким образом, введение в полимерную матрицу МПВТ-А наполнителей KCl и KNO₃ приводит к стабилизации структуры и снижению потерь массы при повышении температуры.

Список литературы

1. Технические условия МПВТ-А ТУ 6-09-11-2084-98. (Взамен ТУ 6-09-11-2084-90).
2. Белоусов, А.М. Исследование низкотемпературного отверждения поли-N-метилаллил-5-винилтетразола / А.М. Белоусов, Е.А. Пазников, Г.Я. Петрова, П.И. Калмыков // Ползуновский вестник. – 2003. – № 1–2. – С. 162–165.
3. Белоусов, А.М. Влияние различных факторов на процесс отверждения тетразолсодержащих полимеров / А.М. Белоусов, Е.А. Пазников, Н.А. Орлова // Известия вузов, сер. Хим. и хим. технология. – 2006. – Т. 49, № 6. – С. 3–10.
4. Белоусов, А.М. Исследование процессов структурирования тетразолсодержащих полимеров различными системами отверждения / А.М. Белоусов, Е.А. Пазников, Н.А. Орлова // Известия вузов, сер. Хим. и хим. технология. – 2006. – № 8. – С. 3–9.

01.02.05

Д.И. Ливеровский

кафедра математического и компьютерного моделирования Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского, LiverD@mail.ru

С.П. Шевырев к.ф.-м.н.

кафедра прикладной информатики Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского, shevsp@rambler.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ТЯЖЁЛОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Данное исследование посвящено модификации метода Давыдова (крупных частиц) для случая несжимаемой жидкости. Рассматривается моделирование течения тяжелой несжимаемой невязкой жидкости модифицированным методом Давыдова в двумерном случае. Кроме того, проводится сравнение полученных результатов с данными, полученными с помощью пакета OpenFOAM.

Ключевые слова: *метод Давыдова, движение жидкости, метод крупных частиц.*

Введение

При изучении реальных явлений на земной поверхности с помощью численных методов для несжимаемых сред необходимо учитывать влияние свободных поверхностей, ограничивающих среду, и земное тяготение. Даже в простейшем случае моделирования движения жидкости в двумерном пространстве возникает проблема определения подвижной границы жидкости. В данной работе рассматривалось моделирование движения тяжелой несжимаемой невязкой жидкости на регулярной сетке модифицированным методом Давыдова в случае двух пространственных переменных. Для определения положения свободной поверхности использовался метод маркеров.

Расчётные формулы метода Давыдова

Суть метода Давыдова (метода крупных частиц) состоит в том, что он использует расщепление по физическим факторам и по координатам. Приведенный ниже метод является модификацией метода из работы [1], где приведено описание метода для сжимаемого газа. В методе Давыдова выделяют три этапа:

1. Эйлеров этап. На этом этапе жидкость предполагается моментально заторможенной, т. е. пренебрегаем всеми эффектами, связанными с перемещениями элементарной ячейки, потока массы через границы ячеек нет, и движение ячейки как твёрдого тела происходит только за счёт сил давления. На эйлеровом этапе опускают конвективные производные, отвечающие за перетекание жидкости.

2. Лагранжев этап. На этом этапе происходит перетекание жидкости из одной ячейки в другую за счёт вычисления направленного потока массы.

3. Заключительный этап. На этом этапе получают значения параметров на следующем шаге по времени.

Рассмотрим этапы модифицированного метода Давыдова более подробно. Решение будет проводиться на регулярной разностной сетке. Все расчётные параметры (давление и компоненты вектора скорости) отнесены к центру ячейки (i, j) , $i=1..n$, $j=1..m$, где i — номер строки, а j — номер столбца, n — количество ячеек по вертикали, m — количество ячеек по горизонтали. Значения на границах ячейки будут иметь полуцелый индекс по соответствующей координате.

Течение тяжелой несжимаемой невязкой жидкости для случая двух пространственных переменных моделируется путем решения краевых задач для системы уравнений Эйлера и уравнения неразрывности:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} = -g, \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

На эйлеровом этапе опускают конвективные члены, таким образом разностные аналоги первых двух уравнений системы (1) примут вид (2), где τ — шаг по времени, а h_x, h_y — размеры ячейки регулярной разностной сетки. Давление берётся на границах расчётных ячеек и выражается по формулам:

$$p_{i,j+\frac{1}{2}}^k = \frac{p_{i,j+1}^k + p_{i,j}^k}{2}, \quad p_{i,j-\frac{1}{2}}^k = \frac{p_{i,j-1}^k + p_{i,j}^k}{2}, \quad p_{i+\frac{1}{2},j}^k = \frac{p_{i+1,j}^k + p_{i,j}^k}{2}, \quad p_{i-\frac{1}{2},j}^k = \frac{p_{i-1,j}^k + p_{i,j}^k}{2},$$

$$\begin{cases} \frac{\tilde{u}_{i,j}^n - u_{i,j}^n}{\tau} + \frac{1}{\rho_0} \frac{p_{i,j+\frac{1}{2}}^k - p_{i,j-\frac{1}{2}}^k}{h_x} = 0, \\ \frac{\tilde{v}_{i,j}^n - v_{i,j}^n}{\tau} + \frac{1}{\rho_0} \frac{p_{i+\frac{1}{2},j}^k - p_{i-\frac{1}{2},j}^k}{h_y} = -g, \end{cases} \quad (2)$$

Отсюда мы можем получить явные формулы для нахождения компонент вектора скорости на конец эйлерова этапа:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_{i,j}^k &= \tilde{u}_{i,j}^k - \frac{\tau}{2\rho_0 h_y} (p_{i,j+1}^k - p_{i,j-1}^k), \\ \tilde{v}_{i,j}^k &= \tilde{v}_{i,j}^k - \frac{\tau}{2\rho_0 h_x} (p_{i+1,j}^k - p_{i-1,j}^k) - \tau g. \end{aligned} \quad (3)$$

Рассмотрим третье уравнение системы (1). В принципе, из исходной системы можно получить уравнение Пуассона для давления, которое должно решаться на каждом шаге по времени:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = - \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right].$$

Однако это уравнение справедливо в дифференциальной форме и не годится для численных расчётов. В разностном аналоге уравнения быстро накапливается погрешность. Если не выполняется разностное уравнение для дивергенции в каждый момент времени, то течение быстро вырождается и становится сжимаемым. В методе Давыдова используется следующий вариант решения уравнения неразрывности.

Введём обозначения:

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} = \tilde{D}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = D, \quad (5)$$

где D — дивергенция вектора скорости после заключительного этапа, $\tilde{D}$ — это дивергенция вектора скорости на эйлеровом этапе, играющая ключевую роль в расчетах несжимаемой жидкости. Дивергенция должна равняться нулю в любой момент времени на

любом этапе расчета, как в дифференциальной форме, так и в разностной форме, это следует из третьего уравнения системы (1).

Запишем разностные аналоги выражений (4) — (5) через скорости на границах ячеек:

$$\tilde{D}_{i,j}^k = \frac{\tilde{u}_{i,j+\frac{1}{2}}^k - \tilde{u}_{i,j-\frac{1}{2}}^k}{h_x} + \frac{\tilde{v}_{i+\frac{1}{2},j}^k - \tilde{v}_{i-\frac{1}{2},j}^k}{h_y}, \quad (6)$$

$$D_{i,j}^k = \frac{u_{i,j+\frac{1}{2}}^k - u_{i,j-\frac{1}{2}}^k}{h_x} + \frac{v_{i+\frac{1}{2},j}^k - v_{i-\frac{1}{2},j}^k}{h_y}, \quad (7)$$

$$u_{i,j+\frac{1}{2}}^k = \frac{u_{i,j+1}^k + u_{i,j}^k}{2}, \quad v_{i+\frac{1}{2},j}^k = \frac{v_{i+1,j}^k + v_{i,j}^k}{2}, \quad \tilde{u}_{i,j+\frac{1}{2}}^k = \frac{\tilde{u}_{i,j+1}^k + \tilde{u}_{i,j}^k}{2}, \quad \tilde{v}_{i+\frac{1}{2},j}^k = \frac{\tilde{v}_{i+1,j}^k + \tilde{v}_{i,j}^k}{2}.$$

Так как на каждом временном слое $\tilde{D}_{i,j}^k = 0$, то, подставив в (6) выражения для $\tilde{u}_{i,j}^k$ и $\tilde{v}_{i,j}^k$ из формул (3), и считая $h=h_x=h_y$, получим следующее выражение:

$$\frac{4h^2 \rho_0 D_{i,j}^k}{\tau} = (p_{i-2,j} + p_{i+2,j} + p_{i,j-2} + p_{i,j+2} - 4p_{i,j}) \quad (8)$$

В том случае, когда все переменные относятся к одному временному слою, будем опускать верхний индекс. Из уравнения (8) уже можно выразить $p_{i,j}$, и получить матричное уравнение. Однако шаблон этого уравнения не очень удобен для практического использования, так как требует наличия на границах расчетного поля второго фиктивного слоя, уравнение (8) можно записать на более компактном шаблоне, используя представление для $p_{i,j}$ в виде ряда Тейлора, оставив только члены первого порядка малости включительно.

В результате получим матричное уравнение следующего вида:

$$p_{i,j} = \frac{1}{4}(p_{i-1,j} + p_{i+1,j} + p_{i,j-1} + p_{i,j+1}) - \frac{h^2 \rho_0}{2\tau} D_{i,j}^k, \quad (9)$$

Уравнение (9) может быть решено итерационным методом, в таком случае получим выражение для $p_{i,j}^{(r+1)}$, где r — номер итерации:

$$p_{i,j}^{(r+1)} = \frac{1}{4}(p_{i-1,j}^{(r+1)} + p_{i+1,j}^{(r)} + p_{i,j-1}^{(r+1)} + p_{i,j+1}^{(r)}) - \frac{h^2 \rho_0}{2\tau} D_{i,j}^k, \quad (10)$$

Уравнение (10) должно решаться на каждом шаге по времени перед эйлеровым этапом.

На лагранжевом этапе вычисляются потоки массы через каждую из границ ячейки. При этом полагаем, что вся масса переносится через границу только за счёт нормальной к границе составляющей скорости:

$$\text{Поток массы слева: } \Delta M_{i,j-\frac{1}{2}} = \rho_0 \tilde{u}_{i,j-\frac{1}{2}} h_y \tau.$$

$$\text{Поток массы снизу: } \Delta M_{i-\frac{1}{2},j} = \rho_0 \tilde{v}_{i-\frac{1}{2},j} h_x \tau.$$

$$\text{Поток массы справа: } \Delta M_{i,j+\frac{1}{2}} = \rho_0 \tilde{u}_{i,j+\frac{1}{2}} h_y \tau.$$

$$\text{Поток массы сверху: } \Delta M_{i+\frac{1}{2},j} = \rho_0 \tilde{v}_{i+\frac{1}{2},j} h_x \tau.$$

На заключительном этапе вычисляются газодинамические параметры в следующий момент времени.

$$u_{i,j}^{k+1} = \frac{\tilde{u}_{i,j}^k z + \tilde{u}_{i,j-1}^k d_1 \left| \Delta M_{i,j-\frac{1}{2}}^k \right| + \tilde{u}_{i-1,j}^k d_2 \left| \Delta M_{i-\frac{1}{2},j}^k \right| + \tilde{u}_{i,j+1}^k d_3 \left| \Delta M_{i,j+\frac{1}{2}}^k \right| + \tilde{u}_{i+1,j}^k d_4 \left| \Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^k \right|}{\rho_0 h_x h_y},$$

$$v_{i,j}^{k+1} = \frac{\tilde{v}_{i,j}^k z + \tilde{v}_{i,j-1}^k d_1 \left| \Delta M_{i,j-\frac{1}{2}}^k \right| + \tilde{v}_{i-1,j}^k d_2 \left| \Delta M_{i-\frac{1}{2},j}^k \right| + \tilde{v}_{i,j+1}^k d_3 \left| \Delta M_{i,j+\frac{1}{2}}^k \right| + \tilde{v}_{i+1,j}^k d_4 \left| \Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^k \right|}{\rho_0 h_x h_y},$$

$$z = \rho_0 h_x h_y - (1-d_1) \left| \Delta M_{i,j-\frac{1}{2}}^k \right| - (1-d_2) \left| \Delta M_{i-\frac{1}{2},j}^k \right| - (1-d_3) \left| \Delta M_{i,j+\frac{1}{2}}^k \right| - (1-d_4) \left| \Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^k \right|,$$

где:

$$d_1 = \begin{cases} 0, & \text{если } \tilde{u}_{i,j-\frac{1}{2}}^k \leq 0, \\ 1, & \text{если } \tilde{u}_{i,j-\frac{1}{2}}^k > 0, \end{cases} \quad d_2 = \begin{cases} 0, & \text{если } \tilde{v}_{i-\frac{1}{2},j}^k \leq 0, \\ 1, & \text{если } \tilde{v}_{i-\frac{1}{2},j}^k > 0, \end{cases}$$

$$d_3 = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{u}_{i,j+\frac{1}{2}}^k \leq 0, \\ 0, & \text{если } \tilde{u}_{i,j+\frac{1}{2}}^k > 0, \end{cases} \quad d_4 = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{v}_{i+\frac{1}{2},j}^k \leq 0, \\ 0, & \text{если } \tilde{v}_{i+\frac{1}{2},j}^k > 0. \end{cases}$$

В рассматриваемой конфигурации задачи существуют ячейки жидкости (ячейки среды), фиктивные ячейки, представляющие собой твёрдое тело, и вакуумные ячейки, где жидкости нет. Расчёты по приведённым выше формулам проводятся только для ячеек, в которых содержится жидкость. Таким образом, количество расчётных ячеек меняется на каждом шаге по времени. Метод Давыдова является методом первого порядка точности. Проверка точности осуществляется путём собирания всех трёх этапов разностной схемы в одну схему и разложением в окрестности фиксированной точки пространства-времени. Устойчивость разностной схемы для классического двумерного метода Давыдова исследовалась в работе [2], в которой показано, что метод является условно устойчивым при ненулевых скоростях. Для отслеживания положения свободной поверхности использовался метод маркеров [3].

Результаты численных расчётов

В данной работе было произведено сравнение результатов, полученных методом крупных частиц, с результатами, описанными в статье по верификации пакета OpenFOAM[4]. В качестве тестовой задачи была взята задача об обрушении столба жидкости в горизонтальном канале прямоугольного сечения. В начальный момент времени прямоугольный столб несжимаемой жидкости находится в состоянии покоя. Под действием силы тяжести столб начинает обрушиваться. Конфигурация модельной задачи представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – Конфигурация тестовой задачи

На рисунках 2 и 3 представлено сравнение результатов, полученных с помощью OpenFOAM [4] и с использованием модифицированного метода крупных частиц. На парах рисунков изображён один и тот же шаг по времени. Кроме того, в двух сечениях с координатами $x_1 = 2.725\text{ м}$ и $x_2 = 2.228\text{ м}$ на каждом шаге по времени измерялась высота столба жидкости. На рисунке 4 приведены 4 графика зависимости высоты столба жидкости от времени для каждой из этих точек. На графиках верхнего ряда представлены численные данные — сплошная линия и экспериментальные данные — маркеры. На графиках нижнего ряда представлены данные, полученные модифицированным методом Давыдова.

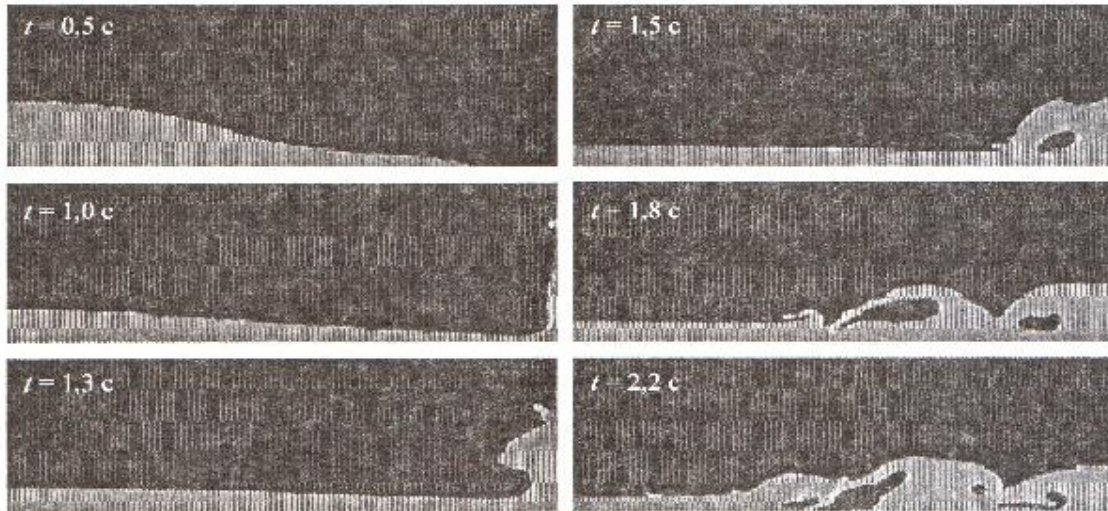


Рис. 2 – Движение столба жидкости в различные моменты времени, смоделированное с помощью OpenFOAM

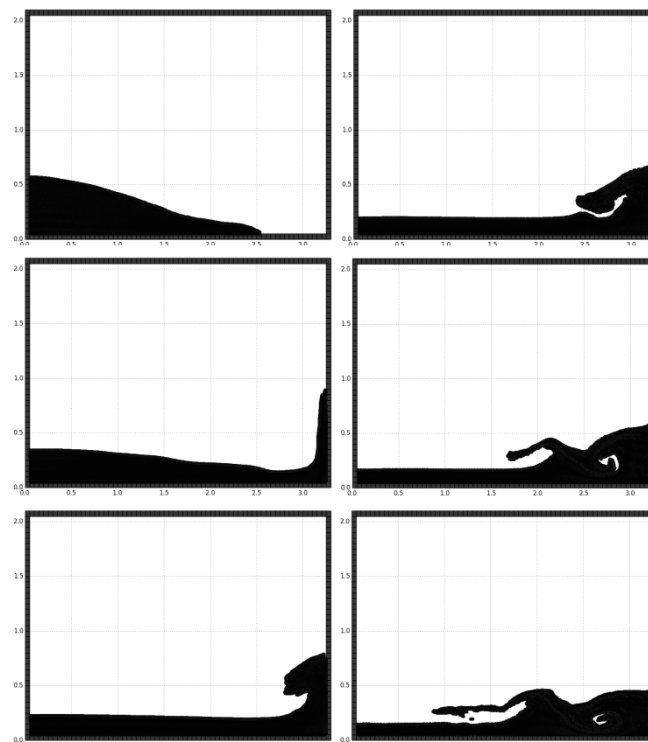


Рис. 3 – Движение столба жидкости в различные моменты времени, полученное с помощью модифицированного метода Давыдова

Видно, что результаты, полученные модифицированным методом Давыдова, соответствуют экспериментальным данным и после 1.5 с.

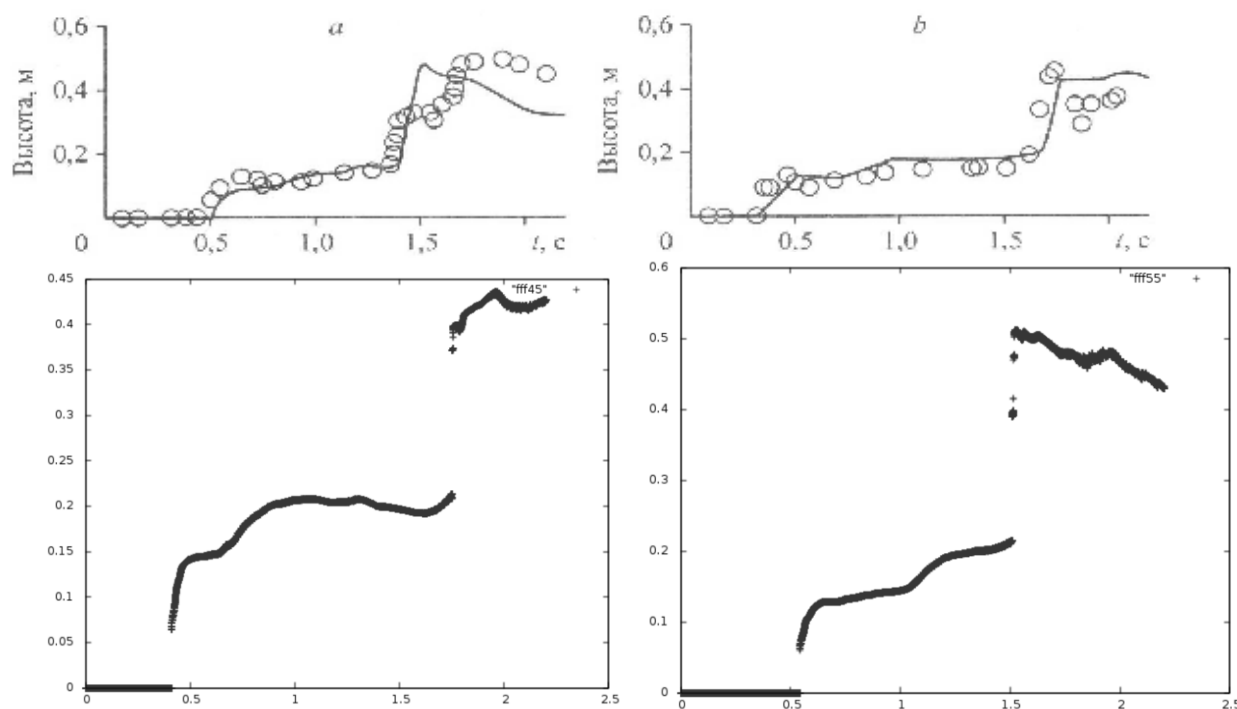


Рис. 4 – Графики высоты водного столба в различных сечениях.

Выводы

В данном исследовании показана модификация метода крупных частиц для случая несжимаемой жидкости, кроме того, показано отслеживание свободной поверхности жидкости. В работе произведено сравнение результатов, полученных модифицированным методом Давыдова, с экспериментальными данными и с результатами, полученными с помощью пакета OpenFOAM, и показано соответствие полученных результатов экспериментальным данным.

Список литературы

1. Белоцерковский О. М. Давыдов Ю. М. Метод крупных частиц в газовой динамике. — М.: «Наука» 1982 г.
2. Шевырёв С. П. Исследование двумерной схемы метода крупных частиц на устойчивость // Дифференциальные уравнения и теория функций в приложении к аэродинамике и теории вероятностей: межвуз. науч. сб. Саратов: Изд-во Саратов. Ун-та, 1987 г. Вып. 7. С. 16-21.
3. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. М.: Мир, 1975 г.
4. Жайнаков А. Ж., Курбаналиев А. Б. Верификация открытого пакета OpenFOAM на задачах прорыва дамб // Теплофизика и аэромеханика: Новосибирск, Издательство СО РАН, 2013 г., том 20, №4.

01.02.04

Е.А. Нащинцев

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина,
 строительно-архитектурно-дорожный институт,
 кафедра теория сооружений и строительных конструкций,
 Саратов, naschintsew@mail.ru

РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИИ КРЕНА ВЫСОТНОГО ОБЪЕКТА НА БАЗЕ МОДЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ОДНООСНОГО ДВУХСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ

В работе представлены результаты расчет деформаций крена высотного объекта на базе неоднородном упруго-пластичном основании.

Ключевые слова: бифуркационная устойчивость, критическая нагрузка, экспоненциальный закон деформирования.

Рассмотрим двухслойную модель основания на базе одноосной модели основания, представленного в виде двух опорных деформируемых стержней [1,2,3]. (Рис. 1). Материал опорных стержней по высоте имеют разные диаграммы деформирования.

Применяя метод конечных разностей к разрешающим дифференциальным уравнениям задачи и условию контакта материала опорных стержней с различными свойствами, получим следующие системы алгебраических уравнений для левой и правой опор (1а и 1б).

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta w_1^R - \Delta w_0^R = \frac{h_{1Z}}{E_{k1}} \Delta q^R \\ \Delta w_0^R - 2\Delta w_1^R + \Delta w_2^R = 0 \\ \Delta w_1^R - 2\Delta w_2^R + \Delta w_3^R = 0 \\ \dots \dots \dots \end{array} \right. \quad (1a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{E_{k1}}{h_{1Z}} \Delta w_{m-1}^R - \left(\frac{E_{k1}}{h_{1Z}} + \frac{E_{k2}}{h_{2Z}} \right) \Delta w_m^R - \frac{E_{k2}}{h_{2Z}} \Delta w_{m+1}^R = 0 \\ \dots \dots \dots \\ \Delta w_{n-1}^R - 2\Delta w_n^R + \Delta w_{n+1}^R = 0 \end{array} \right. \quad (1a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta w_1^S - \Delta w_0^S = \frac{h_{1Z}}{E_{k1}} \Delta q^S \\ \Delta w_0^S - 2\Delta w_1^S + \Delta w_2^S = 0 \\ \Delta w_1^S - 2\Delta w_2^S + \Delta w_3^S = 0 \\ \dots \dots \dots \end{array} \right. \quad (1b)$$

где: h_{1Z} , h_{2Z} – шаг между точками по глубине основания для первого и второго слоя соответственно,

E_{k1} , E_{k2} , – касательные модули деформирования слоев основания,

Отсюда:

$$\begin{vmatrix} 1 - \beta & \beta \\ \beta & 1 - \beta \end{vmatrix} = 0 \rightarrow \beta = \frac{1}{2}$$

В результате решения получим критическую нагрузку общей устойчивости.

$$P_{kp} = \frac{Fa^2}{h_c H} \frac{E_{k1} E_{k2}}{E_{k1} h_{2c} + E_{k2} h_{1c}} \quad (5)$$

Важно, что полученное выражение (5) для критической нагрузки совпадает с критической нагрузкой Эйлера [2] для стойки на упругом основании, если будем полагать что $E_{k1} = E_{k2} = E_0$.

Введем для материалов опорных стержней изменение деформационных свойств в виде экспоненциального закона деформирования:

$$\sigma = \alpha \left(1 - \exp \left(-\frac{e}{\beta} \right) \right) \quad (6)$$

Тогда на каждом шаге нагружения касательные модули деформирования будут изменяться по следующим законам (Рис. 2) :

$$E_{k1} = \frac{\alpha_1}{\beta_1} \exp \left(-\frac{e}{\beta_1} \right)$$

$$E_{k2} = \frac{\alpha_2}{\beta_2} \exp \left(-\frac{e}{\beta_2} \right) \quad (7)$$

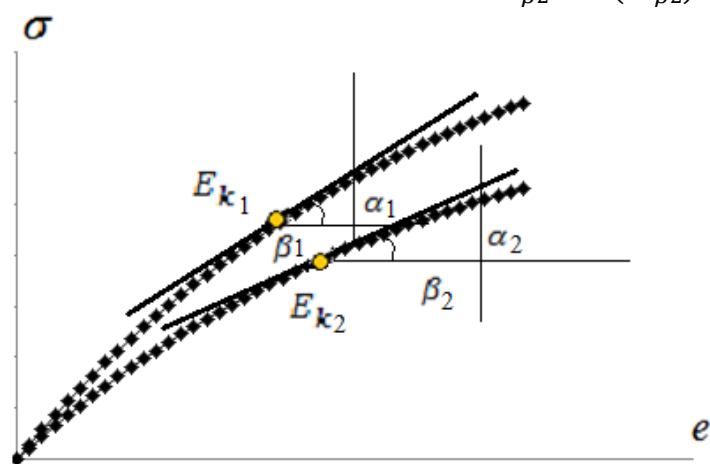


Рис. 2

На рис. 3. приведены графики приращения осадок опор системы с начальным несовершенством для двухслойной упруго-пластичной модели основания, причем нижний слой основания более деформативный, и для однородной упруго-пластиной модели основания.

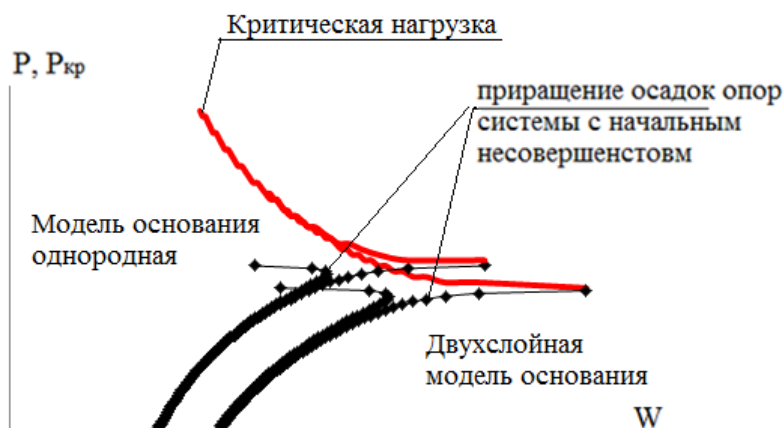


Рис. 3

На рис. 4 приведен график деформаций крена высотного объекта для двухслойной и однослойной модели основания. На этом же рисунке приведен график бифуркационной критической нагрузки.

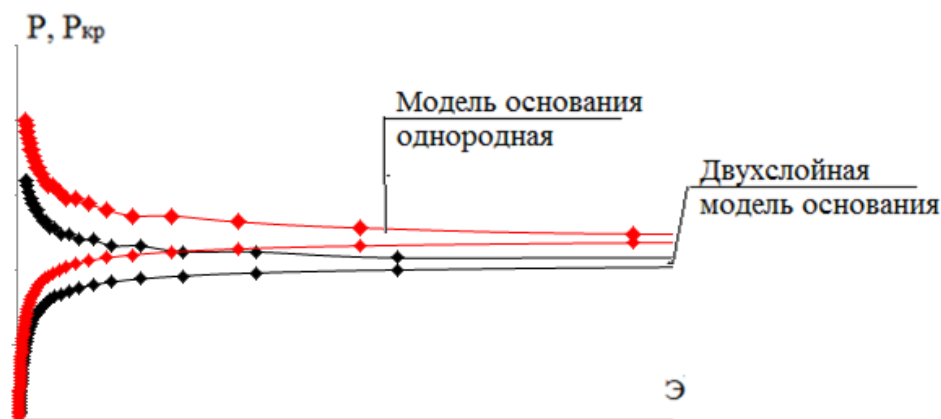


Рис. 4

Можно также отметить, что неоднородность основания с более деформативным подстилающим слоем существенно влияет на уровень общей бифуркационной системы и деформации крена. При этом, согласно выражению (5), если мощность более деформативного слоя будет велика h_{z2} , то это может существенно снизить уровень общей бифуркационной критической нагрузки.

Список литературы

1. Ключников В.Д. Устойчивость упруго-пластичных систем: монография / В.Д. Ключников. М.: Наука, 1980.
2. Пановко Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, ошибки и парадоксы / Я.Г. Пановко, И.И. Гурбанова. 3-е изд., перераб. М.: Наука, 1979. 384с.
3. Коллатц Л. Задачи на собственные значения / Л. Коллатц. М.: Наука, Гл. ред. физ. мат. Лит., 1978.

01.02.04

Е.А. Нащинцев

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина,
 строительно-архитектурно-дорожный институт,
 кафедра теории сооружений и строительных конструкций,
 Саратов, naschintsew@mail.ru

МОДЕЛЬНАЯ ЗАДАЧА УСТОЙЧИВОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ КРЕНА ВЫСОТНОГО ОБЪЕКТА НА БАЗЕ ОДНООСНОЙ МОДЕЛИ УПРУГО-ПЛАСТИЧНОГО ОСНОВАНИЯ

В работе представлены результаты численного эксперимента расчета устойчивости и деформаций крена высотных объектов на упруго-пластичном основании.

Ключевые слова: точка бифуркации, критическая нагрузка, экспоненциальный закон деформирования, метод конечных разностей.

Одноосная модель основания нашла широкое применение при обосновании решения задач устойчивости упруго-пластических систем [1], в задачах устойчивости объектов с высоко расположенным центром сил (стойка на деформируемых упруго-пластических стержнях) [2]. Эта модельная задача позволяет на простом примере проиллюстрировать метод решения задач бифуркационной устойчивости упругопластических систем, который может быть применим и к более сложным задачам. В данной работе эта модель позволила проиллюстрировать решение задач устойчивости и деформаций крена высотного объекта для упругопластического основания.

Рассмотрим следующую расчетную схему (Рис. 1):

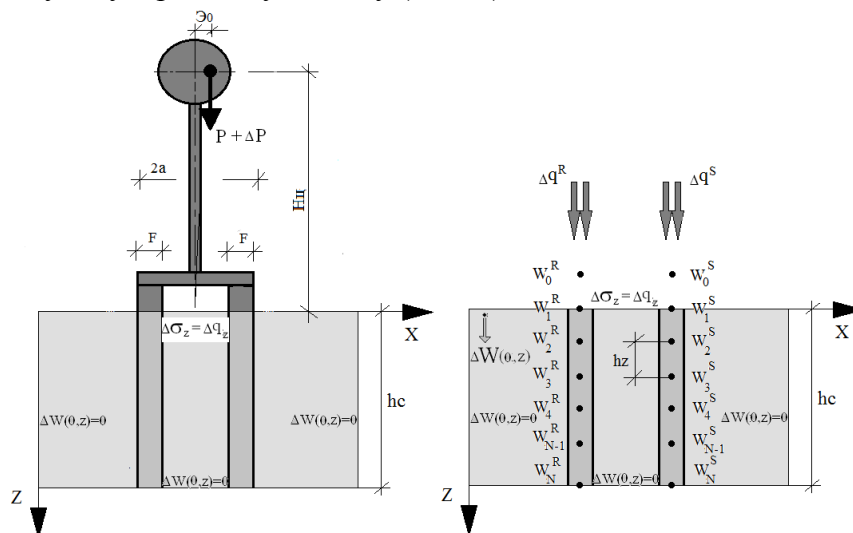


Рис. 1

Предлагаемая методика предполагает сведение проблемы устойчивости к алгебраической задаче на собственные значения:

$$A\{\Delta W\} = \lambda B\{\Delta W\} \quad (1)$$

Здесь: $\{\Delta W\}$ – столбец неизвестных метода сеток (собственная функция), λ – собственное значение, А и В матрицы коэффициентов алгебраической задачи на собственные значения. Приравнявая нулю, определитель алгебраической системы уравнений на собственные значения (1), найдем значение бифуркационной критической нагрузки.

Деформации крена высотного объекта могут быть в этом случае исследованы при прослеживании равновесных состояний системы с малым начальным несовершенством в виде начального эксцентриситета центра сил тяжести Ξ_0 (рис. 1). Сведение дифференциальных уравнений к алгебраической задаче можно осуществить методом конечных разностей [3].

Рассмотрим построение алгебраической задачи устойчивости нашей системы (рис.1) на базе метода конечных разностей.

С помощью метода конечных разностей получим следующие системы алгебраических уравнений для левой и правой опор:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta w_1^R - \Delta w_0^R = \frac{h_z}{E_k} \Delta q^R \\ \Delta w_0^R - 2\Delta w_1^R + \Delta w_2^R = 0 \\ \Delta w_1^R - 2\Delta w_2^R + \Delta w_3^R = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \Delta w_{n-1}^R - 2\Delta w_n^R + \Delta w_{n+1}^R = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta w_1^S - \Delta w_0^S = \frac{h_z}{E_k} \Delta q^S \\ \Delta w_0^S - 2\Delta w_1^S + \Delta w_2^S = 0 \\ \Delta w_1^S - 2\Delta w_2^S + \Delta w_3^S = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \Delta w_{n-1}^S - 2\Delta w_n^S + \Delta w_{n+1}^S = 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

где: h_z – шаг между точками по глубине основания,

E_k – касательный модуль деформирования,

Δq^R , Δq^S – приращение давления, прикладываемая на левую и правую опоры соответственно.

Выражение для поверхностного давления под опорами высотного объекта в соответствии с расчетной схемой имеет вид:

$$\Delta q^R = \frac{\Delta R}{F} = \frac{1}{F} \left(-\frac{P}{2} \frac{1}{a} (\Delta w_1^S - \Delta w_1^R) \frac{H}{2a} \right) = -\frac{PH}{4Fa^2} (\Delta w_1^S - \Delta w_1^R)$$

$$\Delta q^S = \frac{\Delta S}{F} = \frac{1}{F} \left(-\frac{P}{2} \frac{1}{a} (\Delta w_1^S - \Delta w_1^R) \frac{H}{2a} \right) = -\frac{PH}{4Fa^2} (\Delta w_1^S - \Delta w_1^R) \quad (3)$$

где:

P – суммарная нагрузка на опоры сооружения;

ΔR – приращение давления на правую опору;

ΔS – приращение давления на левую опору;

H – высота центра сил;

a – расстояние между опорами;

F – площадь опирания опор;

Δw^S , Δw^R – приращение осадок опор в первой точке.

Совместно решая системы уравнений (2) и (3), получим однородную систему уравнений устойчивости высотного объекта:

$$\left\{ \begin{array}{l} (1 - \frac{h_c PH}{Fa^2}) \Delta w_1^R + \frac{h_c PH}{Fa^2} \Delta w_1^S = 0 \\ \frac{h_c PH}{Fa^2} \Delta w_1^R + (1 - \frac{h_c PH}{Fa^2}) \Delta w_1^S = 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

Будем полагать, что

$$\beta = \frac{h_c PH}{Fa^2 E_k} \quad (5)$$

Отсюда:

$$\begin{vmatrix} 1 - \beta & \beta \\ \beta & 1 - \beta \end{vmatrix} = 0 \rightarrow \beta = \frac{1}{2}$$

В результате решения получим критическую нагрузку общей устойчивости.

$$P_{кр} = \frac{Fa^2 E_k}{h_c H} \quad (6)$$

Важно, что полученное выражение (6) для критической нагрузки совпадает с критической нагрузкой Эйлера [2] для стойки на упругом основании.

Рассмотрим расчет деформаций крена высотного объекта. В этом случае выражение для опорных реакций будет иметь вид:

$$\Delta R = \frac{\Delta P}{2} \left(1 - \frac{\sum \Delta}{a}\right) - P \frac{\Delta}{a} = \frac{\Delta P}{2} \left(1 - \frac{w^S - w^R}{a} \frac{H}{2a}\right) - P \frac{\Delta w^S - \Delta w^R}{4a^2} H \quad (7)$$

$$\Delta S = \frac{\Delta P}{2} \left(1 + \frac{\sum \Delta}{a}\right) + P \frac{\Delta}{a} = \frac{\Delta P}{2} \left(1 + \frac{w^S - w^R}{a} \frac{H}{2a}\right) + P \frac{\Delta w^S - \Delta w^R}{4a^2} H$$

w^S, w^R - суммарное приращение осадок опор в первой точке.

В этом случае получим неоднородную систему алгебраических уравнений устойчивости:

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{h_c PH}{Fa^2 E_k}\right) \Delta w^R + \frac{1}{2} \frac{h_c PH}{Fa^2 E_k} \Delta w^S = \frac{h_c \Delta P}{FE_k} \left(1 - \frac{H}{2a^2} (w^R - w^S)\right) \\ \frac{1}{2} \frac{h_c PH}{Fa^2 E_k} \Delta w^R + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{h_c PH}{Fa^2 E_k}\right) \Delta w^S = \frac{h_c \Delta P}{FE_k} \left(1 + \frac{H}{2a^2} (w^R - w^S)\right) \end{cases} \quad (8)$$

С учетом введенного параметра (5) будем иметь

$$\begin{cases} (1 - \beta) \Delta w^R + \beta \Delta w^S = d_R \\ \beta \Delta w^R + (1 + \beta) \Delta w^S = d_S \end{cases} \quad (9)$$

Тогда для приращений осадок опор высотного сооружения получим:

$$\begin{cases} \Delta w^R = \frac{d_R(1 - \beta) - d_S \beta}{1 - 2\beta} \\ \Delta w^S = \frac{d_S(1 + \beta) - d_R \beta}{1 - 2\beta} \end{cases} \quad (10)$$

Полученные выражения позволяют путем пошагового нагружения получить суммарные значения осадок под опорами высотного объекта и соответственно оценить деформации крена. Очевидно, что величина приращений осадок (9) стремится к бесконечности при значении параметра β равном 0.5, что соответствует критическому уровню нагружения.

Примем диаграмму деформирования стрежней, моделирующих работу основания, в виде экспоненциального закона деформирования:

$$\sigma = \alpha \left(1 - \exp\left(-\frac{e}{\beta}\right)\right) \quad (11)$$

Тогда на каждом шаге нагружения касательный модуль деформирования будет изменяться по следующему закону :

$$E_k = \frac{\alpha}{\beta} \exp\left(-\frac{e}{\beta}\right) \quad (12)$$

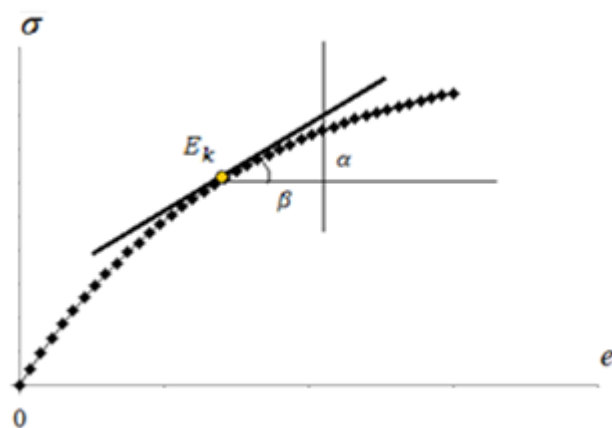


Рис. 2

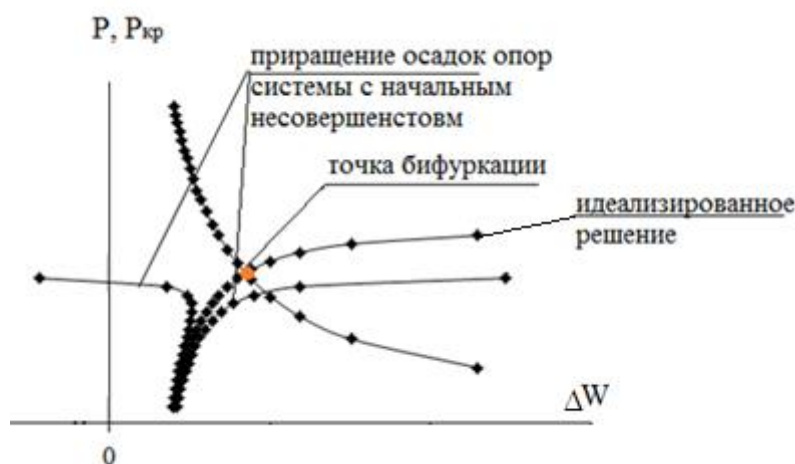


Рис. 3

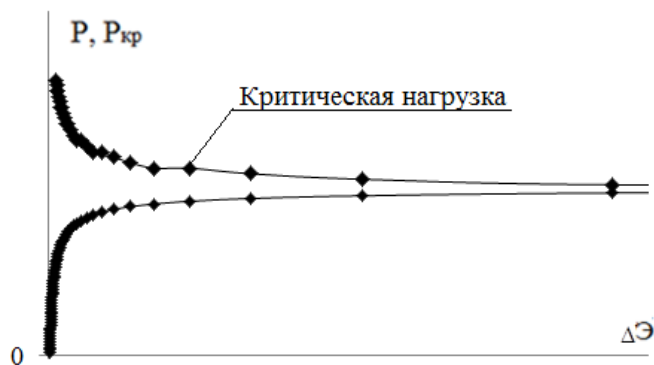


Рис. 4

На рис. 3 проиллюстрирован график зависимости приращений осадок опор высотного объекта для идеализированной системы и системы с начальным несовершенством. На рис. 3 приведен график снижения критической нагрузки в зависимости от величины приращения осадок. Можно также отметить, что при приближении уровня нагружения к критической бифуркационной нагрузке деформации крена высотного объекта возрастают (рис. 4).

Список литературы

1. Ключников В.Д. Устойчивость упруго-пластичных систем: монография / В.Д. Ключников. М.: Наука, 1980.
2. Пановко Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, ошибки и парадоксы / Я.Г. Пановко, И.И. Гурбанова. 3-е изд., перераб. М.: Наука, 1979. 384с.
3. Коллатц Л. Задачи на собственные значения / Л. Коллатц. М.: Наука, Гл. ред. физ. мат. Лит., 1978.

01.04.14

Н.А. Парфентьева, С.В. Труханов, В.Л. Кашинцева

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (МГСУ),
Институт фундаментального образования, кафедра физики, Москва, svtrou@mail.ru

РАСЧЕТЫ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В СРЕДЕ С НЕПРОНИЦАЕМОЙ СТЕНКОЙ

Приводится решение задачи об определении поля концентрации частиц при работе поглотителя. Предлагаются формулы, по которым достаточно просто можно рассчитать время очистки воздуха от вредных примесей. Решение приводится в безразмерном виде, что дает возможность сделать расчеты для большого интервала значений коэффициента диффузии, размеров помещения и т.д.

Ключевые слова: Нестационарное поле концентрации, вредные примеси, поглотитель, очистка воздуха, непроницаемая граница.

В настоящее время в связи с наличием в городах производств, машин и пр. весьма актуальными являются проблемы, связанные с очисткой воздуха в помещении от примесей, которыми могут быть частицы аэрозоля, газы [1,2]. Для очистки воздуха применяются различные методы, в частности используются поглотители частиц. Для оценки скорости очистки воздуха на основе математической модели делаются расчеты [3].

В данной работе рассматривается нестационарное поле концентрации аэрозольных частиц при постоянно включенном поглотителе частиц.

Рассмотрим одномерную задачу. Считаем, что в среде в начальный момент времени поле концентрации однородно. Одна граница непроницаема, а на второй границе создан постоянный поглотитель частиц, при этом число частиц, поглощаемых в единицу времени постоянен.

Удобно для начала определить поток частиц через любое сечение в любой момент времени, т.е. $q(x,t)$.

Пренебрегая конвекционной составляющей, запишем уравнение

$$D \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} = \frac{\partial q}{\partial t}, \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии.

Граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} q|_{x=0} &= q_0, \\ q|_{x=l} &= 0, \quad \frac{\partial n}{\partial x} = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Начальное условие

$$q|_{t=0} = 0. \quad (3)$$

В уравнении (1) отсутствует конвективная составляющая, но ее можно учесть, введя эффективный коэффициент диффузии, $D_{эфф}$, как это делается при расчетах температурных полей [4].

Естественно, коэффициент диффузии в этом случае увеличивается, и, соответственно, скорость изменения концентрации, а следовательно и поток частиц возрастают.

Точное решение уравнения (1) в этом случае имеет вид [5]:

$$q = q_0 \left[\left(1 - \frac{x}{l} \right) - \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi k x}{l}}{k} e^{-\frac{\pi^2 k^2}{l^2} D t} \right]. \quad (4)$$

Приближенное решение уравнения (1), позволяющее сделать оценочные расчеты (метод Бубнова – Галеркина), имеет вид:

$$q = q_0 \left[\left(1 - \frac{x}{l} \right) - \frac{5}{2} \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) e^{-\frac{10 D t}{l^2}} \right] \quad (5)$$

Сравнение расчетов по формулам (4) и (5) показало, что точное и приближенное решения хорошо совпадают (ошибка не превышает 7%), начиная со значений Fo' , равных 0,07.

$Fo' = \frac{D t}{l^2}$ - параметр Фурье для процесса диффузии.

Для определения распределения концентрации согласно закону Фика

$$q = -D \frac{\partial n}{\partial x},$$

проинтегрируем (4) и получим

$$n(x, t) = \frac{q_0}{D} \left[x \left(1 - \frac{x}{2l} \right) + \frac{2l}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{\pi k x}{l}}{k^2} e^{-\frac{\pi^2 k^2}{l^2} D t} \right] + f(t) + C. \quad (6)$$

Естественно приближенное решение дает более простое выражение:

$$n(x, t) = -\frac{q_0}{D} x \left[1 - \frac{x}{2l} - \frac{5}{2} \frac{x}{l} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{3l} \right) e^{-Fo'} \right] + f(t) + C. \quad (7)$$

Подставив найденные выражения в уравнение теплопроводности, записанное для определения поля концентрации, получим, воспользовавшись выражением (7):

$$f(t) = -\frac{q_0 t}{l} + C_1.$$

Тогда решение (7) имеет вид:

$$n(x, t) = -\frac{q_0}{D} x \left[1 - \frac{x}{2l} - \frac{5}{2} \frac{x}{l} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{3l} \right) e^{-Fo'} \right] - \frac{q_0 t}{l} + C_1.$$

Используя начальные условия, определим C_1 .

Тогда окончательно приближенное решение получим:

$$n(x, t) = n_0 + \frac{q_0}{D} x \frac{5}{2} \frac{x}{l} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{3l} \right) (1 - e^{-Fo'}) - \frac{q_0 t}{l}. \quad (8)$$

Точное решение имеет вид:

$$n(x, t) = n_0 - \frac{q_0 l}{D} \left[\frac{D t}{l^2} + \frac{1}{2} \frac{x^2}{l^2} - \frac{x}{l} + \frac{1}{3} - \frac{2}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{\pi k x}{l}}{k^2} e^{-\pi^2 k^2 Fo'} \right]. \quad (9)$$

Из решения следует, что все графики зависимости $n(x, Fo')$ имеют точки перегиба, кроме границ рассматриваемой области. Сначала изменение концентрации со временем будет происходить с небольшой скоростью, затем скорость возрастает и, начиная с некоторого значения времени, скорость опять убывает и остается постоянной до момента окончательной очистки воздуха.

При этом уравнения прямых будут иметь вид:

$$n(x, t) = n_0 - \frac{q_0 t}{l} - \frac{q_0 l}{D} \left(\frac{1}{2} \frac{x^2}{l^2} - \frac{x}{l} + \frac{1}{3} \right),$$

то есть эти зависимости представляют ряд параллельных прямых, являющихся асимптотами кривых зависимости концентрации от времени.

Вследствие этого скорость уменьшения концентрации остается постоянной при любом значении x , то есть воздух будет очищаться от примесей с постоянной скоростью.

Используя формулу (8), достаточно легко оценить время с начала работы поглотителя за которое воздух очистится от аэрозольных частиц.

Например, в сечении $x=l/2$, это время будет приблизительно равно

$$t = \frac{l}{D} \left(n_0 + \frac{5}{48} \frac{q_0 l}{D} \right).$$

К этому времени надо прибавить время установления постоянной скорости изменения концентрации, то есть

$$t' = 0,3 \frac{l^2}{D}.$$

Для анализа решения также удобно формулы (8) и (9) записать в безразмерном виде:

$$\bar{n} = \frac{\Delta n}{n_0} = \frac{q_0 l}{D n_0} \bar{x} \left(0,5 - \frac{1}{3} \bar{x} \right) (1 - e^{-Fo'}) - \frac{q_0 Fo' l}{n_0 D} \quad (10)$$

$$\bar{n}(\bar{x}, Fo') = \frac{q_0 l}{n_0 D} \left[-Fo' - \frac{1}{2} \bar{x}^2 + \bar{x} - \frac{1}{3} + \frac{2}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos \pi k \bar{x}}{k^2} e^{-\pi^2 k^2 Fo'} \right] \quad (11)$$

По формулам (10) и (11) делались расчеты, которые показывают достаточно хорошее совпадение, начиная с $Fo'=0,1$.

Данное решение позволяет определить зависимость концентрации от времени, оценить время очистки воздуха от вредных примесей, подобрать необходимую мощность поглотителя частиц.

Список литературы

1. Иттри К.Э, Торсет К. Углеродсодержащий аэрозоль – проблема, остающаяся нерешенной. Бюллетень ВМО 58(1), 2009, с.56.
2. Райст П. Аэрозоли. М.» Мир», 1987, 121 с.
3. Н.А.Парфентьева, О.Д.Самарин, С.Паулаускайте. Решение уравнения теплопроводности для задач диффузии вредных примесей при наличии источников и стоков. // Экология урбанизированных территорий., 2009, №2, с. 34 – 36.
4. Парфентьева Н.А, Паулаускайте С.А. О приближенных методах решения задач строительной физики. Материалы конференции в Техническом Университете им. Гидеминоса «Environmenal Engineering», Вильнюс, 2014.
5. Тихонов А.Н, Самарский А.А. Уравнения математической физики. Изд-во МГУ, 1999, с. 56

01.04.14

Н.А. Парфентьева, С.В. Труханов, Н.С. Сафонова

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (МГСУ),
Институт фундаментального образования, кафедра физики, Москва, svtrou@mail.ru

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИБЛИЖЕННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ

Приводятся примеры приближенного решения некоторых задач строительной теплофизики, таких как определение полей температуры, концентрации, влажности, давления. Рассматриваются решения задач в случае зависимости коэффициента переноса от потенциала. Показаны преимущества и необходимость получения приближенных решений в некоторых случаях.

Ключевые слова: потенциал, уравнение теплопроводности, приближенное решение, коэффициенты переноса

При решении многих проблем, встречающихся в инженерной практике, возникает необходимость расчета полей температуры, давления, влажности, для последующего определения потоков [1,2].

Для решения подобных задач, как показывает практика, часто разумно использовать приближенные методы, позволяющие получить решения в достаточно простой форме, которая позволяет как сделать оценочные расчеты, так и физический анализ исследуемых процессов.

Математической моделью, с помощью которой можно определить поля температуры, влажности, давления и концентрации, является уравнение теплопроводности, решение которого находится при граничных и начальных условиях, определяемых особенностями данной задачи.

Процессы, определяющие формирование полей температуры, давления и т. д., подчиняются одной закономерности – поток пропорционален градиенту скалярной физической величины, которую можно рассматривать как потенциал. В зависимости от интервала исследуемых величин и физики процессов уравнение теплопроводности может быть линейным или нелинейным, решение последнего оказывается более сложным, даже при применении численных методов.

Уравнение теплопроводности пишется на основе уравнения теплового и материального баланса, то есть фактически законов сохранения энергии и массы.

Уравнение для потенциала φ в общем виде имеет вид [3]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = k \Delta \varphi - \beta (\vec{v} \vec{\nabla}) \varphi + q(\vec{r}, t), \quad (1)$$

где φ – нестационарный потенциал (температура, концентрация и т.д.), k – коэффициент переноса (температуропроводности, диффузии, пьезопроводности и т.д.), β – коэффициент, определяющий отношение макро и микропереноса.

Первое слагаемое в правой части уравнения (1) учитывает молекулярную составляющую процесса переноса, второе слагаемое – конвективную составляющую, $q(\vec{r}, t)$ – распределение источников по объему, например, количество частиц выделяемых в единицу времени в данной точке пространства.

Иногда это уравнение осложнено тем, что необходимо учитывать зависимость параметров, определяющих распределение потенциала от его значения. Тогда даже в одномерном случае появляется нелинейность уравнения.

Однако следует обратить внимание, что только в теории диффузии коэффициент k входит в закон Фика и в уравнение (1) и является коэффициентом диффузии. При расчете полей температуры и давления в законы Фурье и Дарси входят коэффициенты теплопроводности и динамический коэффициент фильтрации, а в уравнение (1) коэффициенты температуропроводности и пьезопроводности, которые отличаются по физическому смыслу от первых.

Поэтому, зависимости коэффициентов температуропроводности и пьезопроводности от давления или температуры отличаются от зависимости коэффициентов теплопроводности и фильтрации, в то время как зависимость коэффициента переноса в (1) при исследовании процесса диффузии совпадает с зависимостью коэффициента диффузии. Это надо иметь в виду при анализе решений.

Коэффициент k можно считать постоянным только в определенных пределах изменения определяемой величины.

Это происходит при большом интервале изменения температуры, например, в случае пожара. Особенно важно учитывать зависимость коэффициента влажопроводности от потенциала влажности или просто от влажности, так как в связи со сложностью процесса влажопереноса эта зависимость изменяется. Как показывает опыт, при малых значениях влажности и соответственно потенциала влажности, коэффициент влажопроводности до определенного значения влажности уменьшается, а затем увеличивается.

Рассмотрим применение двух приближенных методов для решения задачи определения нестационарного потенциала в одномерном случае при учете зависимости коэффициента переноса. Это решение может быть применено не только к определению температурного поля, но и к расчету влажности в слое грунта при искусственной поддержке постоянных значений влажности на границах, а также для аналогичной задачи одномерной диффузии.

Следует отметить, что предлагаемый метод получения приближенного решения может быть использован и при определении распределения потенциала и в двухмерном случае, например, при определении температурного поля в угле, или определения поля концентрации вблизи двух взаимно-перпендикулярных поглощающих поверхностей.

Итак, решаем уравнение

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(\varphi) \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] \quad (2)$$

при начальных и граничных условиях

$$\varphi|_{x=0} = \varphi_1; \varphi|_{x=l} = \varphi_2; \varphi|_{t=0} = \varphi_0. \quad (3)$$

Сделаем замену:

$$u = \int k(u) du.$$

Тогда уравнение (2) преобразуется к виду:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = k(u) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \quad (4)$$

Также изменятся значения на границе:

$$u_{x=0} = u_1; u|_{x=l} = u_2; u|_{t=0} = u_0. \quad (5)$$

Если в уравнение (4) подставить максимальное и минимальное значения переноса, то мы получим два линейных уравнения теплопроводности относительно $u_{\max}$ и $u_{\min}$, решение которого широко известно.

Тогда, согласно теореме сравнения решение нелинейного уравнения будет находиться в области значений переменных:

$$u_{\min}(x, t) \leq u(x, t) \leq u_{\max}(x, t).$$

Делая обратный переход, к искомому потенциалу, можно утверждать, что

$$\varphi_{\min}(x, t) \leq \varphi(x, t) \leq \varphi_{\max}(x, t).$$

В зависимости от характера зависимости коэффициента переноса можно найти приближенное значение φ_{np} как среднее арифметическое или среднее геометрическое от двух значений на границе области:

$$\varphi_{np} = \frac{\varphi_{\min} + \varphi_{\max}}{2} \quad \text{или} \quad \varphi_{np} = \sqrt{\varphi_{\min} \varphi_{\max}}.$$

Для получения простых формул при расчетах весьма разумно использовать приближенное решение линейного уравнения, полученное методом Бубнова – Галеркина:

$$\varphi_{\max, \min} = \varphi_1 + (\varphi_2 - \varphi_1) \frac{x}{l} + \left[5(\varphi_0 - \varphi_1) - \frac{5}{2}(\varphi_2 - \varphi_1) \right] \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) e^{-\frac{10k_{\max, \min} t}{l^2}} \quad (6)$$

При решении задачи распределения влажности в слое грунта толщиной l , бралась зависимость коэффициента влагопроводности в виде:

$$k(\varphi) = A\varphi^2 - B\varphi + C.$$

A, B, C – постоянные величины, определяемые экспериментально.

Значения влажности находились в области от 0,04 кг/кг до 0,9 кг/кг.

Сравнение экспериментально полученных данных с расчетными показал, что ошибка в расчетах по приближенным формулам, начиная с $Fo = 0,07$ не превышает 10%.

Полученные приближенные формулы позволяют оценить время, необходимое для достижения определенного значения влажности в различных сечениях слоя.

Как показывают расчеты, если при решении брать среднее значение коэффициента влагопроводности, то такое приближенное решение дает гораздо более существенное расхождение с экспериментом.

Подобный метод решения также применялось к определению нестационарных полей концентрации и температуры [4].

По предлагаемым формулам достаточно просто оценить, например, тепловой поток через ограждение, время очистки воздуха от примесей и т.д.

При учете конвективной составляющей переноса, когда порядок числа Пекле равен единице, также можно воспользоваться предложенным методом, то есть, когда конвективная составляющая процесса переноса играет существенную роль.

В этом случае решение может быть получено при введении эффективного коэффициента $k_{эфф}$, уравнение (1) сводится к уравнению (2). Заметим, что $k_{эфф}$ – это формальный коэффициент, физический смысл которого отличается от коэффициента переноса. Использование эффективных коэффициентов переноса может существенно облегчить не только получение аналитического решения, но и является очень удобным при получении решения численным методом, как, например, в [5].

На основании сказанного можно сделать вывод, что можно использовать приближенные методы для решения широкого класса задач строительной теплофизики, позволяющие получить достаточно простые приближенные формулы для оценочных расчетов, а также для анализа зависимостей нестационарных потенциалов от различных физических параметров.

Список литературы

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1982, 415 с.
2. Шервуд Т., Пизфорд Р., Уилки Ч. Массопередача. – М. – 1982.
3. Фридман А. Уравнения с частными производными параболического типа. Изд-во «Мир», 1998.
4. Парфентьева Н.А., Самарин О.Д. Применение теоремы сравнения для приближенной оценки значений температуры и концентрации при нелинейных процессах переноса. // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2011. Вып. 6(18). Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru.
5. Парфентьева Н.А., Парфентьев Н.А. Математическое моделирование теплового режима конструкций при фазовых переходах. // Научно-технический журнал ВЕСТНИК МГСУ, М. 2011, Вып. 4, 320 с.

01.02.06

О.Ю. Сметанников, В.В. Зыков, К.А. Могильников

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра ВМиМ, Пермь, sou2009@mail.ru

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ НА БАЗЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ РАСЧЕТНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

В данной работе проведен сравнительный анализ подходов, моделей и инструментов, предназначенных для моделирования деформируемых (гибких) тел в пакетах MSC.Patran (MSC.Nastran), ANSYS совместно с программой динамического моделирования многотельных конструкций MSC.ADAMS. По полученным в ходе динамического расчета нагрузкам проведен прочностной анализ конечно-элементных моделей, входящих в сборку.

Ключевые слова: *динамика, многомассовая система, станина, прочность, ADAMS, ANSYS, MSC.Nastran, MSC.Patran.*

Составляющей частью технологий проектирования и управления инженерными данными предприятия с распределенным доступом являются программные продукты, предназначенные для моделирования динамического поведения многодетальных конструкций. Цель использования такого рода пакетов - прогнозирование кинематических, динамических и прочностных характеристик проектируемого изделия, оптимизация отдельных узлов и агрегатов.

Одним из пакетов динамического моделирования сложных машин и механизмов является MSC.ADAMS. С помощью ADAMS можно создать полностью параметризованную модель изделия, строя ее непосредственно в препроцессоре или импортируя из наиболее распространенных CAD-систем. В частности, в статье [1] создана трехмерная модель двигателя внутреннего сгорания и проведен кинематико-динамический анализ его работы.

Важная особенность ADAMS заключается в возможности включения в модель, состоящую из абсолютно жестких массивных элементов, деталей, в которых помимо инерционных характеристик учитываются их упругие свойства (технология Flexible Bodies - гибкие или деформируемые тела). Включение Flexible Bodies в сборку возможно благодаря импорту конечно-элементной модели деформируемого тела из специализированных CAE - пакетов (MSC.Nastran [2], MSC.Patran, ANSYS [3], и др.). Например, технология расчета в ADAMS с использованием ANSYS применена в статье [4] для динамического расчета мультифункционального офисного кресла. А в статье [5] интерфейс ADAMS-ANSYS используется для моделирования работы параллельного дельта-робота. По окончании расчета вычисленные нагрузки и силы инерции, действующие на упругое тело, экспортируют обратно в CAE - среду для точной оценки прочности. Целью данного исследования является расчет прочности для последующей оптимизации элементов подвески на базе анализа динамического поведения платформы в процессе выстрела.

Общее описание виртуального прототипа самоходного артиллерийского орудия (САО)

Виртуальный прототип представляет собой механическую систему, состоящую из абсолютно твердых тел, соединенных между собой шарнирами и безинерционными упругими элементами. Виртуальный прототип позволяет получить все кинематические и силовые параметры в узлах и агрегатах модели. Все связи в системе считаются голономными и склерономными. Динамическая модель состоит из следующих компонентов: дорога, шасси, артиллерийская установка. Дорога является стандартным компонентом ADAMS. Шасси состоит из следующих компонентов: подрессоренная часть, рессоры, амортизаторы,

реактивные тяги балансирной тележки, мосты, передние ступицы, рулевые тяги, колеса. Импульсная установка состоит из следующих компонентов: качающаяся часть, вращающаяся часть, платформа, гидроцилиндры, станины, ухо поворотное. Наведения орудия при выстреле осуществляется заданием двух параметров: углом подъема качающейся части относительно вращающейся части; углом поворота башни относительно платформы при выстреле.

Виртуальный прототип, выполненный в пакете ADAMS, со встроенными упругими компонентами – станинами представлен на рис. 1.

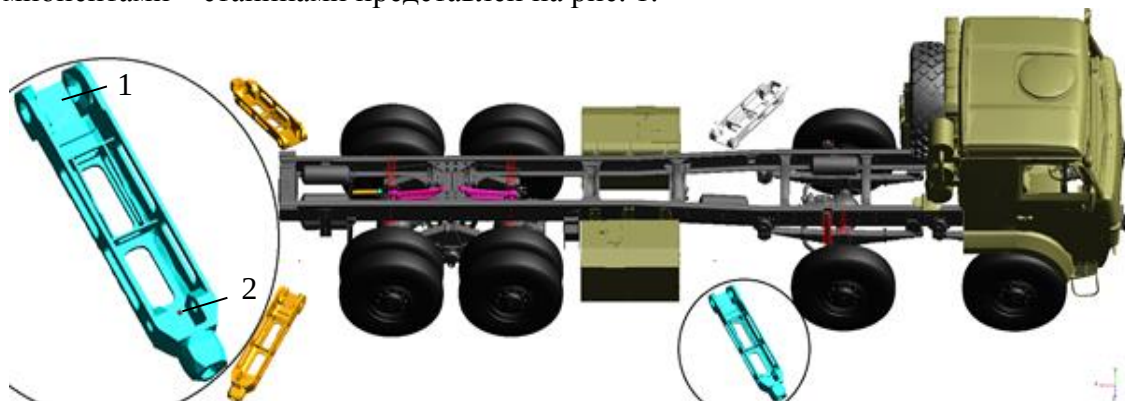


Рис. 1. Модель ходовой части CAO. Нумерация шарниров в станине.

Математическая постановка для динамической модели твердотельной многомассовой системы в ADAMS, а также модель деформируемых тел в MSC.Nastran и ANSYS описана в [6].

Результаты расчета модели в MSC.ADAMS

Исследуется динамическое поведение CAO и проводится сравнительный анализ 3-х разных случаев: с абсолютно жесткими компонентами модели – станинами, с заменой станин деформируемыми аналогами, импортированными из ANSYS, а также из MSC.Nastran (Patran).

Моделирование выполнено с горизонтальным углом наведения равным 90° (угол поворота башни относительно платформы), вертикальным – 45° (угол подъема качающейся части относительно вращающейся части). Характерные времена: 0-5 сек – становление в положение равновесия, опускание (выдвижение) станин, 8 сек – выстрел, 8-12 сек колебания после выстрела. На рис. 2-3 представлено сравнение результатов расчета модели в ADAMS с использованием деформируемых станин, импортированных из Ansys (черный цвет графика), Nastran (Patran) (синий цвет графика), и абсолютно жестких (Rigid) станин (красный цвет графика). Максимальная амплитуда усилий возникает во втором шарнире в передней правой станине за счет отдачи от выстрела. При использовании в конструкции абсолютно жестких станин амплитуда усилий возрастает на 16% в сравнении с использованием деформируемых станин (рис. 2). На рис. 3 представлена сумма амплитуды сил возникающих в первом шарнире передней правой станины в момент выдвижения станин и касания платформы. Амплитуда колебаний усилий в сборке с жесткими компонентами также значительно больше, чем в модели, включающей упругие компоненты. Номера шарниров указаны на рис.1.

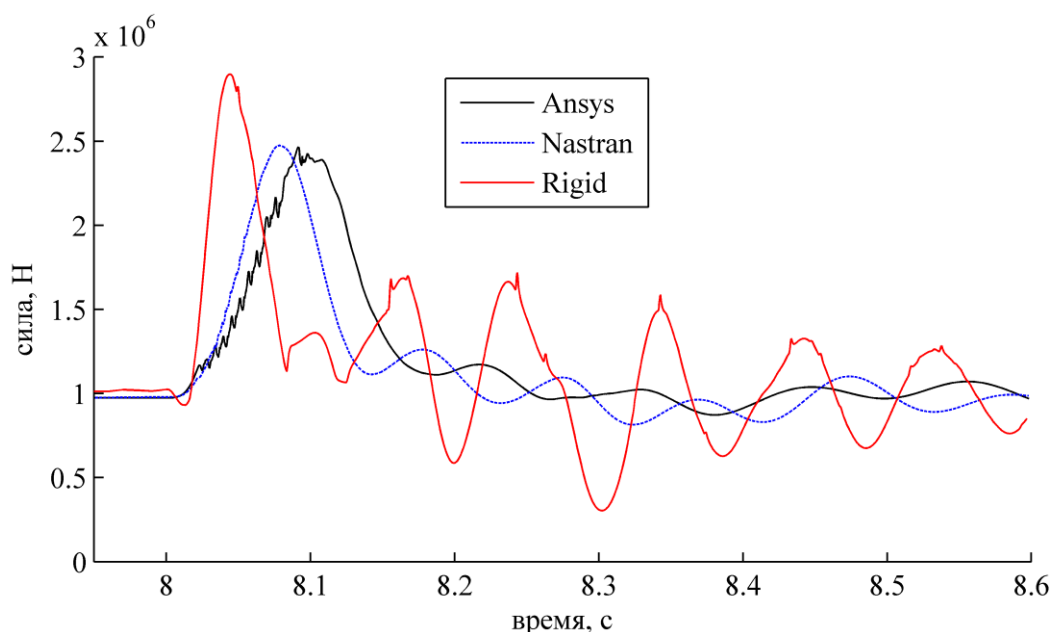


Рис.2. Сумма амплитуды сил во 2 шарнире в передней правой станине в промежуток времени соответствующий выстрелу.

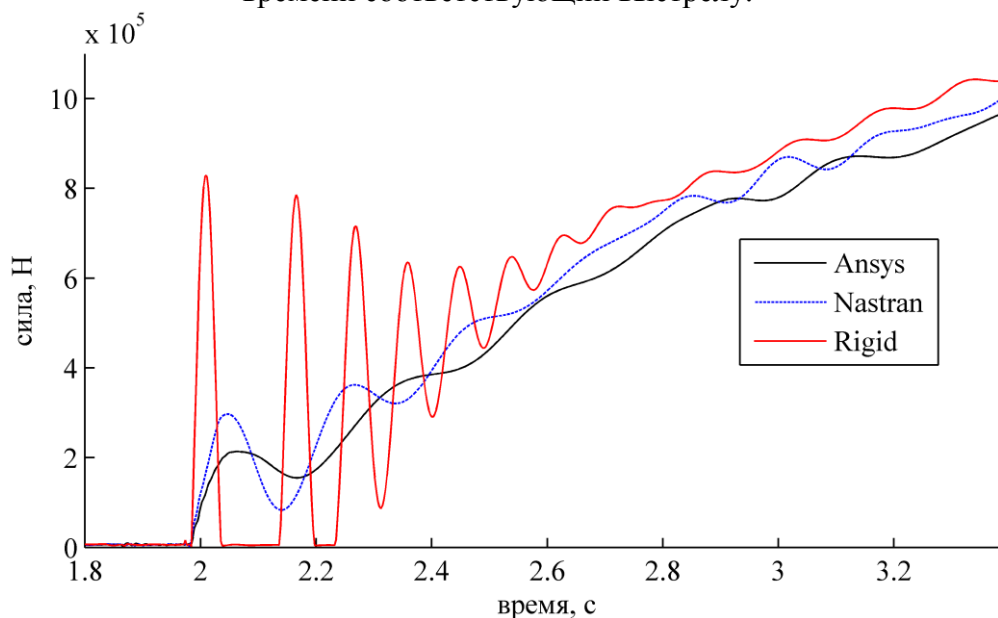


Рис.3. Амплитуды силы в 1 шарнире в передней правой станине в промежуток времени соответствующий подъему.

Результаты расчета НДС.

С помощью плагина Adams/Durability можно получить предварительную картину напряженно-деформированного состояния в постпроцессоре ADAMS. Так же с помощью плагина Adams/Durability можно узнать наиболее напряженные точки тела вместе с временами их достижения.

На рис. 4 представлены поля напряжений по Мизесу в момент времени достижения максимальных напряжений полученные с помощью плагина Adams/Durability (а) и вычисленные в MSC.Nastran (б). Расчет НДС в ANSYS показал аналогичную MSC.Nastran картину напряженного состояния.

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что соответствующие поля напряжений по Мизесу в Adams/Durability и в САЕ-пакете качественно совпадают, но количественно имеют различия. При расчете НДС в САЕ-пакетах конечно-элементная сетка была улучшена для более точного определения напряженного состояния.

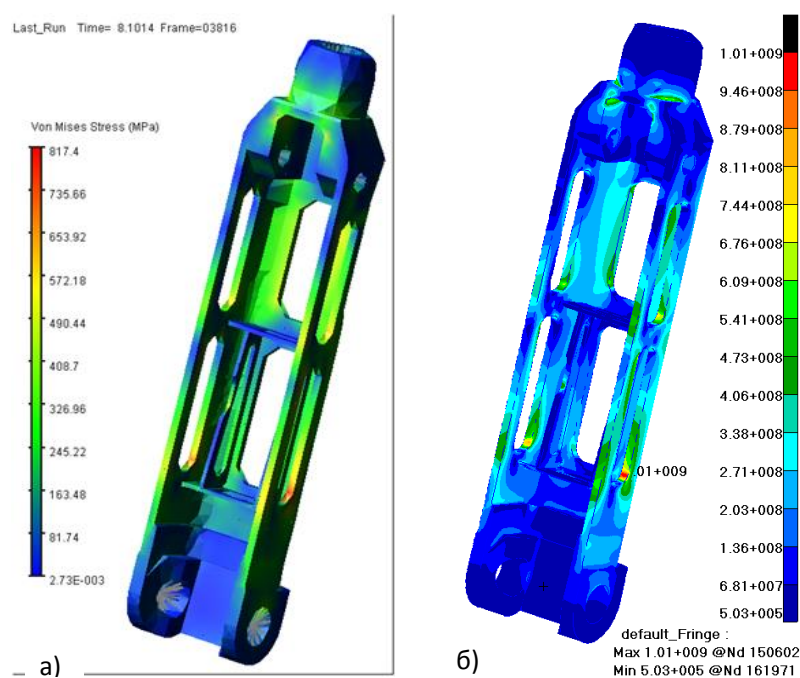


Рис. 4. Напряжения по Мизесу. а) Adams/Durability; б) MSC.Nastran.

Заключение

Проведен динамический расчет модели CAO и сравнение 3-х случаев: с включением в модель абсолютно жестких компонент – станин, с заменой станин деформируемыми аналогами, импортированными из ANSYS, а также из MSC.Nastran (Patran).

По полученным в ADAMS нагрузкам на упругий компонент рассчитано его напряженно-деформированное состояние в средах ANSYS и MSC.Nastran (Patran), а также с помощью плагина Adams/Durability. Количественно и качественно результаты между двумя CAE-пакетами схожи. Полученное напряженное состояние в Adams/Durability имеет на 20% заниженное значение экстремальных напряжений в сравнении с хорошо согласующимися между собой результатами в ANSYS и MSC.Nastran.

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «ПНИПУ» при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218)

Список литературы

1. Гвоздев А.С., Мелентьев В.С. Трёхмерная и динамическая модели двигателя малой мощности для исследования сопряжённых процессов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – №6(3). – С. 626-633.
2. Рычков С.П. Msc.Visual Nastran для Windows / -М: HT Пресс, 2004. -552с.
3. Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. Изд.2, испр. / Ленанд, 2010.- 456 с.
4. Bo Jiang, Hai Tao Wu, Hong Bin Liu, Hai Tao Liu. Buffer Analysis of Multifunction Office Chair Based on ADAMS and ANSYS // Advanced Materials Research. – 2013. – Vols. 655-657. – P. 249-252.
5. C.X. Zhu, Yong Xian Liu, Guang Qi Cai, L.D. Zhu. Dynamics Simulation Analysis of Flexible Multibody of Parallel Robot // Applied Mechanics and Materials – 2008. – Vols. 10-12. – P. 647-651.
6. Сметанников О.Ю., Могильников К.А. Моделирование динамического поведения сложных механизмов в среде ADAMS-EASY5 // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №5. – С. 54-58.

01.02.04

О.Ю. Сметанников д.т.н., Г.В. Ильных

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Факультет Прикладной Математики и Механики, Кафедра Вычислительной Математики и
Механики, Пермь, sou2009@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ЛИТЬЕВЫХ ПРОТОТИПОВ

В работе рассмотрена проблема потери устойчивости ячеистой структуры, служащей каркасом для литевых выжигаемых прототипов. Проверена способность использования данной структуры для решения проблемы растрескивания керамической формы в процессе выжигания прототипа. Найдены критерии сохранения устойчивости конструкции в процессе наслаивания керамической формы на прототип. Определен момент потери устойчивости в процессе выжигания и его влияние на напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции.

Ключевые слова: литье по выжигаемым моделям, быстрое прототипирование, стереолитография, ячеистая структура, устойчивость, метод конечных элементов.

Одной из проблем литья по выжигаемым моделям, основанного на технологии быстрого прототипирования (Rapid prototyping), является растрескивание керамической формы. Это связано с высокой степенью отклика материала литьевого прототипа (фотополимерной композиции (ФПК)) на температурное воздействие[1]. Замена сплошного наполнителя на ячеистую структуру (Рис. 1) [2] позволяет решить проблему за счет уменьшения количества материала, что также является позитивным фактором с точки зрения экономии.

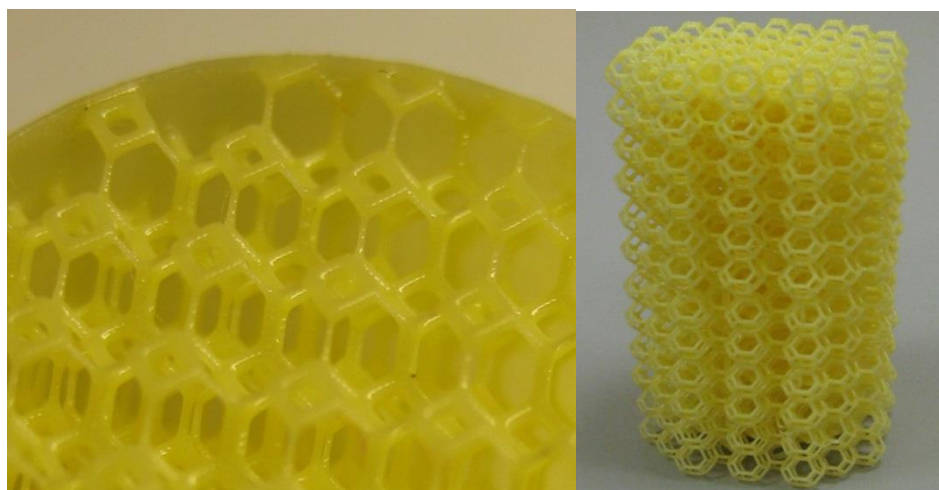


Рис. 1 – Ячеистая структура

Цель данной работы заключается в получении данных о термомеханическом поведении и устойчивости фотополимерных прототипов с внутренней ячеистой структурой. Для этого в конечно-элементном САЕ-пакете ANSYS проведены численные исследования на односвязных конечно-элементных моделях (Рис. 2). В качестве ячейки периодичности, лежащей в основе структуры каркаса синтез-модели, была использована ячейка Вигнера-Зейтца.

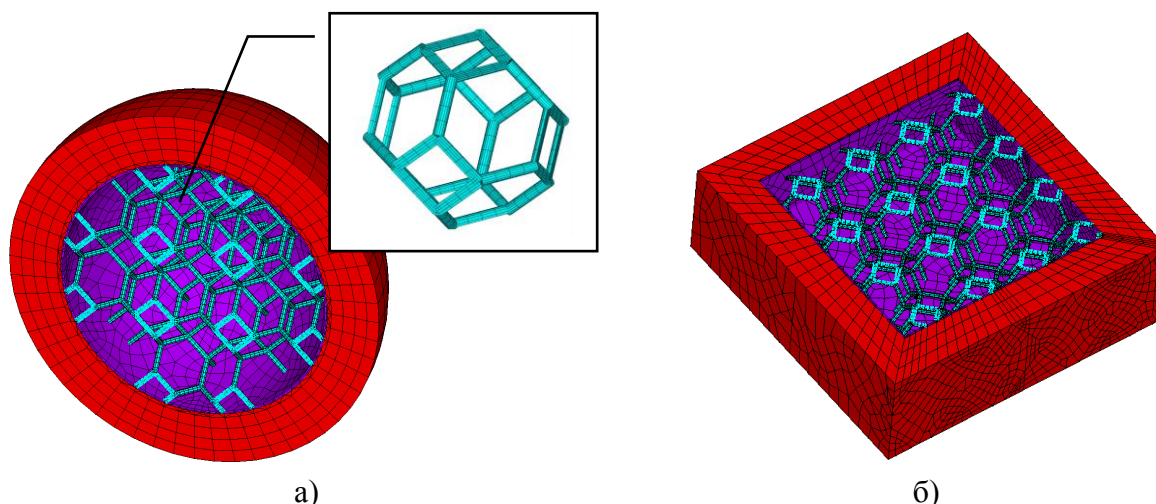


Рис. 2 – Конечно-элементная модель литьевого прототипа в разрезе: а) в виде сферы (с выделенной ячейкой периодичности), б) в виде параллелепипеда

Рассматриваются два этапа процесса создания керамической формы. Первый этап – послойное наращивание формы с усадкой слоев, которая представляет собой угрозу потери устойчивости элементами ячеистой структуры и может привести как к частичному нарушению геометрии прототипа, так и к его «схлопыванию». Второй этап – процесс высокотемпературного массоудаления прототипа, в ходе которого возможно растрескивание формы.

Для определения температурных полей решалась нестационарная задача теплопроводности, математическая постановка которой включает следующие уравнения, граничные и начальные условия

$$\frac{\partial T(\mathbf{x}, t)}{\partial t} = a \nabla^2 T(\mathbf{x}, t), \quad \mathbf{x} \in V, \quad (1)$$

$$\frac{\partial T(\mathbf{x}, t)}{\partial \mathbf{n}(\mathbf{x})} = -\frac{\bar{\alpha}}{\lambda} (T(\mathbf{x}, t) - T_e), \quad \mathbf{x} \in S_t, \quad (2)$$

$$T(\mathbf{x}, 0) = T_0, \quad \mathbf{x} \in V, \quad (3)$$

где $T(\mathbf{x}, t)$ – температура; $a = \lambda / c \rho$ – коэффициент температуропроводности; λ – коэффициент теплопроводности; c – массовая теплоёмкость; ρ – плотность; $\bar{\alpha}$ – коэффициент теплоотдачи; T_e – температура окружающей среды; T_0 – начальная температура для всех точек модели, равная 20 °С.

Результаты решения (1)–(3) используются в расчете НДС конструкции на втором этапе. В рамках упругого приближения система уравнений включает:

$$\operatorname{div} \hat{\sigma}(\mathbf{x}) = 0, \quad \mathbf{x} \in V, \quad (4)$$

$$\hat{\varepsilon}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \left(\nabla \mathbf{u}(\mathbf{x}) + (\nabla \mathbf{u}(\mathbf{x}))^T \right), \quad \mathbf{x} \in V, \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}(\mathbf{x}) = {}^4\hat{C}(T, \dot{T}) \cdot (\hat{\varepsilon}(\mathbf{x}) - \hat{\varepsilon}_T(\mathbf{x})), \quad \mathbf{x} \in V, \quad (6)$$

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}) = 0, \quad \mathbf{x} \in S_u, \quad (7)$$

$$\hat{\sigma}(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{n}(\mathbf{x}) = 0, \quad \mathbf{x} \in S_\sigma, \quad (8)$$

где $\hat{\sigma}(\mathbf{x})$ – тензор напряжений; $\mathbf{u}(\mathbf{x})$ – вектор перемещений; $\hat{\varepsilon}(\mathbf{x})$ – тензор полных деформаций; ${}^4\hat{C}(T, \dot{T})$ – тензор упругих констант четвертого ранга; $\hat{\varepsilon}(\mathbf{x})$, $\hat{\varepsilon}_T(\mathbf{x}) = \alpha \Delta T(\mathbf{x})$ – тензор полных и температурных деформаций соответственно; α – коэффициент линейного температурного расширения.

В качестве ФПК выступает полимер Envisontec SI500 (Модуль упругости на растяжение в стеклообразном состоянии $E^g = 2,68$ МПа, температура стеклования $T_g = 61$ °С, плотность $\rho = 1,2$ г/см³ в твердом состоянии[3]). Определяющие соотношения для Envisontec SI500[4]:

$$E(T, \dot{T}) = E_1 + E_2 N_L(T, \dot{T}), \quad (14)$$

$$N_L(T, \dot{T}) = \begin{cases} 1 - 0,5e^{\frac{T-T_g(\dot{T})}{\gamma_L}}, & T < T_g; \\ 0,5e^{\frac{-(T-T_g(\dot{T}))}{\gamma_L}}, & T \geq T_g, \end{cases} \quad (15)$$

где E_1 - модуль Юнга в высокоэластическом состоянии; $E_2 = E^g - E_1$; $N_L(T, \dot{T})$ - степень стеклования; γ_L - параметр, определяющий ширину интервала стеклования. Для описания неразрывного контактного взаимодействия между прототипом и керамической оболочкой в ANSYS используется технология Bonded contact (Связанный контакт).

Решение линейной задачи потери устойчивости на обоих этапах заключается в сведении системы (16), построенной с помощью МКЭ, к характеристическому уравнению (17), решением которого является набор собственных значений.

$$([K^0] - [G^0])\{Z^0\} = 0, \quad (16)$$

$$[H]\{Z^0\} = \lambda_m \{Z^0\}, \quad (17)$$

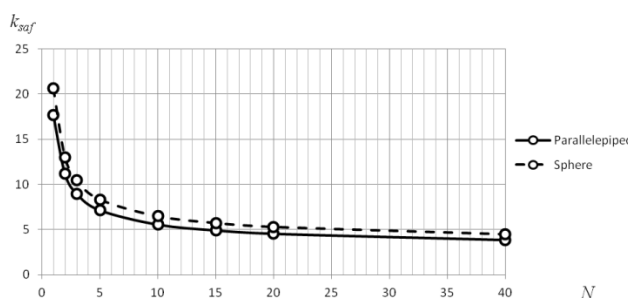
где $[K^0]$ - матрица жёсткости конструкции; $[G^0]$ - матрица потенциала нагрузки конструкции; $\{Z^0\}$ - вектор узловых перемещений конструкции, $[H] = [K^0]^{-1}[G^0]$ - характеристическая матрица; $\lambda_m = 1/k_{cr}$ - собственные числа (их количество соответствует порядку рассматриваемой системы уравнений); k_{cr} - коэффициент критической нагрузки.

Первый этап включает ряд расчетов на устойчивость с варьированием параметров модели. С помощью полученного в ANSYS коэффициента критической нагрузки k_{cr} найден коэффициент запаса устойчивости k_{saf} для конструкции с текущим набором параметров:

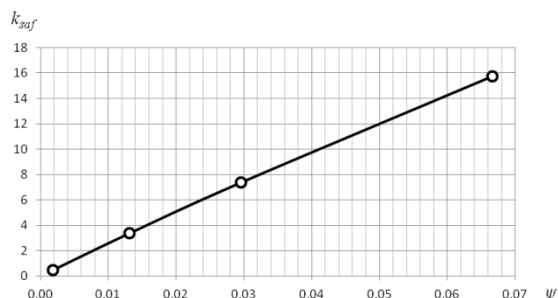
$$k_{saf} = k_{cr} = \varepsilon_{cr}^* / \varepsilon_{sh}^*. \quad (16)$$

где ε_{sh}^* - эффективная деформация усадки (единственная нагрузка на данном этапе, определялась численно), нелинейно зависящая от деформации усадки (характеристика материала) и количества нанесенных слоев N (толщина керамической оболочки неизменна); $\varepsilon_{cr}^* = k_{cr} \varepsilon_{sh}^*$ - критическое значение деформации усадки, при которой произойдет потеря устойчивости.

При значениях $k_{saf} \leq 1$ элементы конструкции теряют устойчивость. При значениях $k_{saf} > 1$ существует потенциал для изменения геометрических характеристик прототипа с целью экономии материала.



а)



б)

Рис. 3 – Зависимость коэффициента запаса: а) от количества слоев (сплошная линия для параллелепипеда, пунктирная – для сферы), б) от коэффициента объемного содержания (для сферы)

Наблюдаемая тенденция (Рис 3, а) подтверждает тот факт, что большое количество слоев негативно сказывается на устойчивости конструкции. Увеличение радиуса стержней ячеистой структуры, а равно и коэффициента объемного содержания ψ , приводит к значительному росту k_{saf} конструкции (Рис. 3, б). Различия геометрии используемых моделей сильно не повлияли на данную зависимость (Рис. 3, а). Варьирование толщины полимерной оболочки, масштабов, а также изменение формы (сфера, параллелепипед) при неизменном размере периодической ячейки влияют на коэффициент запаса незначительно.

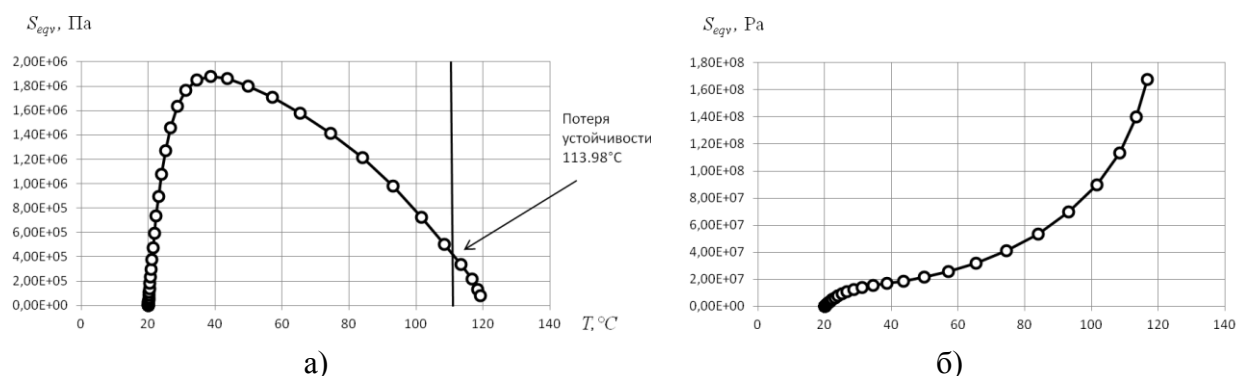


Рис. 4 – Температурная зависимость эквивалентных по Мизесу напряжений для прототипа: а) с ячеистой структурой, б) со сплошным наполнителем

На **втором этапе** использование ячеистой структуры (при $\psi=0.03$) позволяет значительно снизить значения пиковых напряжений (Рис. 4). Показано, что найденный момент потери устойчивости (использован итерационный процесс) наступает после пиковых значений по напряжению (Рис. 4, а). При этом напряжения для конструкции с ячеистой структурой (2 МПа) не превышают предела прочности материала на растяжение.

Использование описанных подходов на реальном прототипе позволит оптимизировать количество необходимой ФПК при сохранении устойчивости конструкции.

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

Список литературы

1. Морозов В.В. Исследование и разработка технологических режимов изготовления отливок по выжигаемым моделям, полученных методом лазерной стереолитографии: Дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04: Москва, 2005 161 с. РГБ ОД, 61:05-5/1949
2. Патент на полезную модель – 114430 РФ, Литейная форма / И.В. Самусев, А.М. Ханов, В.А. Дубровский; – 2011141319; Заяв. 13.10.2011; Оpubл. 27.03.2012.
3. Material Safety Data Sheet Photopolymer Industrial Shell: SI 500.
4. Сметанников О.Ю., Самусев И.В. Экспериментальная идентификация параметров определяющих соотношений для фотополимерного композита // Механика композиционных материалов и конструкций. 2013. Т 19. №1. С. 105-116.

01.02.04

О.Ю. Сметанников, Е.С. Михалев

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Кафедра ВМиМ,
Пермь, sou@cpl.pstu.ac.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ ФОРМЫ ЛИТЬЕВЫХ ПРОТОТИПОВ В ANSYS

Представлена численная модель процесса стереолитографии (SLA) для изготовления фотополимерных прототипов, реализованная в ANSYS. Предложена методика уменьшения дефектов формы путем модификации исходной геометрии. Выполнен сравнительный анализ отклонений формы после двух этапов расчета (с исходной и модифицированной геометрией) для трех вариантов конструктивного исполнения прототипа простейшей детали. Показано, что представленная методика позволяет снизить дефекты формы более чем в 5 раз.

Ключевые слова: *Anslys, стереолитография, дефекты формы, фотополимерный прототип.*

Стереолитография (SL) представляет собой процесс наращивания фотополимерных прототипов по компьютерной CAD-модели путем послойной полимеризации ультрафиолетовым лазером жидкого мономера. При этом платформа с прототипом, погруженная в мономер, пошагово опускается на толщину одного слоя под поверхность жидкости перед каждым засвечиванием. Одной из основных проблем стереолитографии является наличие дефектов формы из-за усадки полимера.

Термомеханические эффекты при изготовлении литьевых прототипов рассмотрены, в частности, в работах [1-3]. Диссертация [1] посвящена детальному анализу факторов, влияющих на качество литьевой формы и ее разрушение. В статье [2] предложен алгоритм выбора метода оперативного макетирования и производства прототипов по эффективности обработки и геометрическим параметрам качества формируемой поверхности. В [3] представлена модель динамического затвердевания смол при фотополимеризации, численный конечно-элементный прогноз дефектов формы, сравнение его с экспериментом. В настоящей статье решение задачи компенсации усадочных дефектов формы проводится стандартными средствами пакета ANSYS.

Постановка задачи. Ранее был предложен вариант конструкции фотокомпозитного прототипа в виде оболочки с внутренним наполнителем из ячеек Вигнера-Зейтса [4]. В этом случае существенно снижаются расход материала и вероятность разрушения керамической литьевой формы, а, в сравнении с пустотелой конструкцией, предотвращается потеря устойчивости. Однако остается проблема остаточных усадочных деформации. Поэтому на данном этапе решается 2 задачи: 1). Моделирование послойного наращивания прототипа из фотокомпозита Envisiontec SI 500 в различных вариантах конструктивного исполнения с целью верификации расчетного алгоритма и сравнения их по критерию формоизменения; 2) Задача компенсации дефектов формы на основе решения первой задачи.

Математическая модель. Математическая постановка задачи включает в себя: уравнения равновесия, геометрические соотношения Коши с учетом гипотезы малых деформаций, граничные условия в перемещениях и определяющие соотношения для линейно-вязкоупругого материала с учетом гипотезы о наличии температурно-временной аналогии по модели Вильямса-Ланделла-Ферри.

$$\hat{\sigma}(x, t) = \int_0^t \hat{R}(t'_R - \tau'_R) \cdot d(\hat{\epsilon}(x, \tau) - \hat{\epsilon}_T(x, \tau)), \quad x \in V, \quad (1)$$

$$t_R' = \int_0^t \frac{d\omega}{a_T^R(T(x, \omega), T_H^R)}, \quad x \in V; \lg a_T^R = -C_1 \frac{T(x, t) - T_b}{C_2 + (T(x, t) - T_b)}$$

где $\hat{R}$ – ядро релаксации; t_R' – приведенное время релаксации; a_T^R – коэффициент температурно-временного сдвига, T_b, C_1, C_2 – эмпирические константы. ЛКТР испытывает скачок на величину линейного коэффициента полимеризационной усадки материала в малом интервале $[T_H^R, T_1]$.

$$\hat{\varepsilon}_T(x, t) = \begin{cases} \alpha(T(x, t) - T_0), & T(x, t) \in [T_0, T_1] \\ \alpha(T_1 - T_0) + \frac{k_{yc}(T(x, t) - T_1)}{3(T_2 - T_1)}, & T(x, t) \in [T_1, T_2], \quad x \in V \\ \frac{k_{yc}}{3} + \alpha(T(x, t) - T_0), & T(x, t) \in [T_2, T_k] \end{cases} \quad (2)$$

где $\hat{\varepsilon}_T$ – тензор температурной деформации; T_0, T_k – начальная и конечная температура; k_{yc} – коэффициент объемной усадки; C_1, C_2 – эмпирические константы.

Алгоритм численного решения. При реализации модели в ANSYS используется линейно вязкоупругая модель Rplon с ядром сдвиговой релаксации в виде суммы экспонент и отсутствием объемной ползучести. Все материальные константы для фотополимерного композита Envisiontec SI 500 найдены из термомеханических экспериментов, описанных в работе [5]. Процесс наращивания материала реализуется в пакете ANSYS с использованием технологии «оживления» элементов (Element Dead and Birth). В начальном состоянии геометрический аналог будущего прототипа представляет собой его идеальную (требуемую) форму. Далее геометрия разбивается на горизонтальные слои с толщиной, соответствующей реальной толщине слоя (50-100 мкм). На полученный каркас наносится сетка объемных элементов Solid186. Перед началом расчета все элементы образца умерщвляются (EKILL) и закрепляются по всем степеням свободы. Начальная температура $T_0 = T_1$. Наращивание очередного слоя проводится в 2 этапа. На первом освобождаются соответствующие узлы и оживляются элементы слоя (EALIVE). На втором - моделируется усадка путем подъема температуры слоя до $T = T_2$ (см. (3)) в течение 10 с.

Верификация модели. Для проверки выбранного алгоритма проведено сравнение с результатами эксперимента, поставленного на полнометельном кубике с отверстием в работе [3].

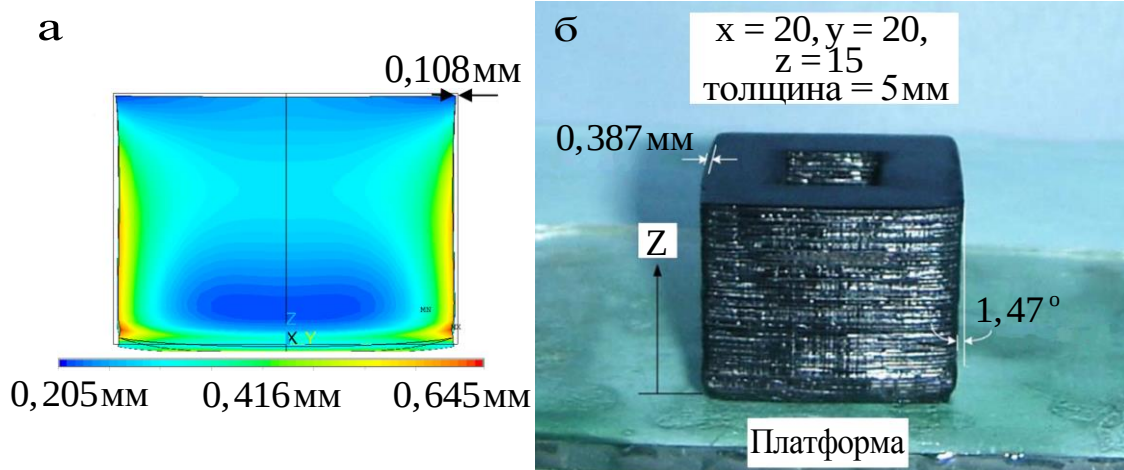


Рис. 1 – Форма прототипа: а – расчет, б – эксперимент [3]

С учетом расхождения в свойствах материалов сравнение имеет качественный характер. Из рис. 1 видно, что экспериментальные и расчетные отклонения от идеальной формы абсолютно подобны. Наиболее деформированными являются нижние слои, нижняя часть параллелепипеда имеет выпуклую форму, что хорошо согласуется с использованной в решении методикой наращивания без натяга.

Сравнение вариантов конструктивного исполнения прототипа. Рассматривается три вида прототипов в виде параллелепипеда: полый, сплошной, с ячеистым наполнителем. Эффективные термомеханические свойства наполнителя определялись численно в ANSYS из решения ряда задач деформирования ячейки периодичности (сжатие, простой сдвиг). Размер ячейки – 3.5 мм, толщина связи – 0.2 мм. С учетом симметрии исследуется восьмая часть (рис. 2). Габаритные размеры образцов: 20x20x15 мм, толщина стенок 1,5 мм.

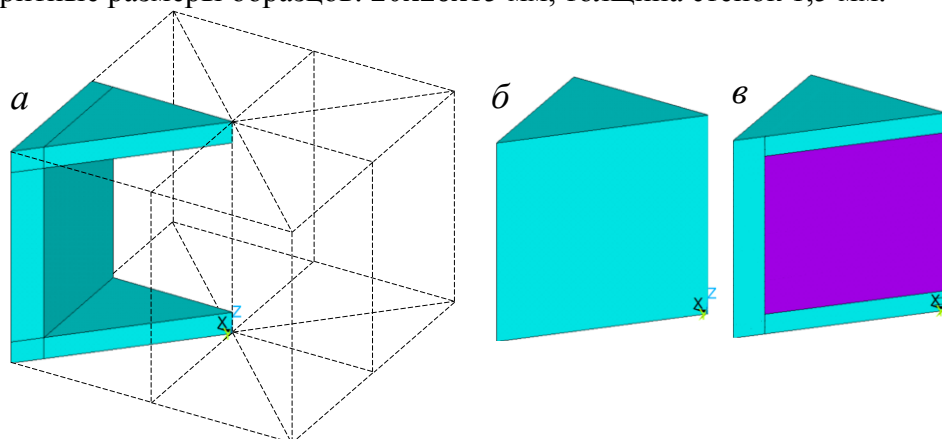


Рис. 2 – Геометрия расчетной области прототипов: а – полоого; б – сплошного; в – с наполнителем

Число конечных элементов: 5731 – для полоого; 11024 – сплошного; и 12719 – с эффективными свойствами. Нижняя грань моделей закреплена по вертикальным перемещениям (аналог закрепления на платформе), которые удаляются по окончании наращивания. Остальные границы свободны. На рис. 3. представлены результаты расчетов.

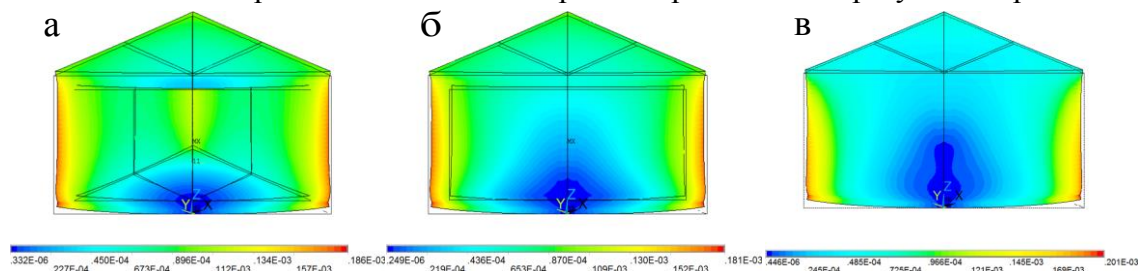


Рис. 3 – Поля суммарных остаточных перемещений прототипа: а – полоого, б – сплошного, в – с эффективными свойствами

Из рис. 3. видно, что качественно дефекты формы идентичны, их максимальная величина в полном прототипе больше наполненного на 10% (0,201 и 0,181 мм соответственно). Наиболее деформированными оказались первые слои, особенно в области вертикальных ребер.

Компенсация усадочных дефектов формы. По результатам первого этапа расчетов исходная геометрия моделей корректируется путем вычитания полученных перемещений из координат соответствующих узлов (модифицированный профиль) с помощью макроса UPCOORD,-1. Далее алгоритм первого этапа повторяется. На рис. 4. показаны горизонтальные остаточные перемещения на вертикальных ребрах идеальных и модифицированных моделей.

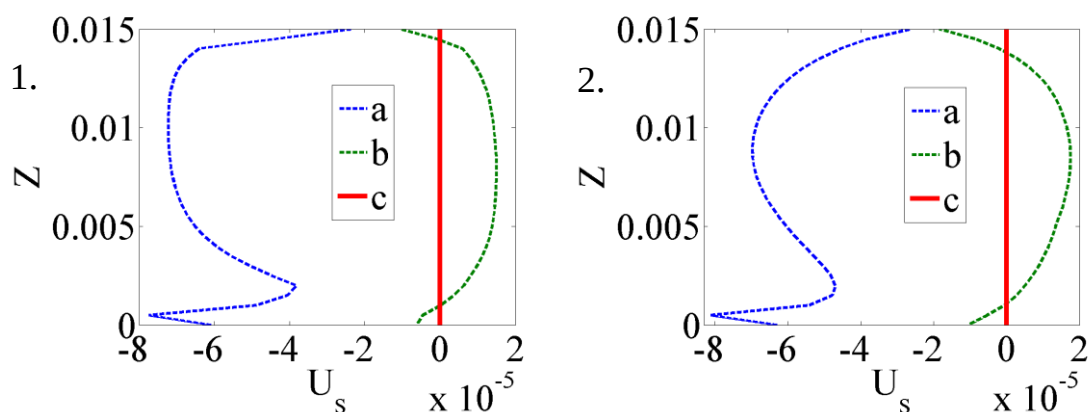


Рис. 4 – Finalный профиль вертикальных ребер прототипа: 1 – ячеистый, 2 – сплошной.
а – идеальная начальная геометрия, b – модифицированная, с – эталон

Закключение. Подтверждена адекватность физической модели фотополимера и ее численной реализации в ANSYS для прогнозирования дефектов формы стереолитографических прототипов. Показано, что разница в величинах отклонений для разных вариантов строения заготовок не превышает 10%. Предложенная методика компенсации отклонений позволяет, как следует из численного эксперимента, снизить их уровень в 5 раз.

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

Список литературы

1. Морозов В. В. Исследование и разработка технологических режимов изготовления отливок по выжигаемым моделям, полученных методом лазерной стереолитографии: дис. канд. техн. наук. – М., 2005. – С. 9-10.
2. Витязь П. А., Ильющенко А. Ф., Хейфец М. Л. Оперативные макетирование и производство изделий сложной формы из композиционных материалов // Научные технологии в машиностроении. – 2011. - № 2. – С. 3-8.
3. Y.M. Huang, C.P. Jiang, Numerical analysis of a mask type stereolithography process using a dynamic finite-element method, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 21, 649–655, 2003.
4. Патент на полезную модель – 114430 РФ, Литейная форма / И.В. Самусев, А.М. Ханов, В.А. Дубровский; – 2011141319; Заяв. 13.10.2011; Оpubл. 27.03.2012.
5. Сметанников О.Ю., Самусев И.В. Экспериментальная идентификация параметров определяющих соотношений для фотополимерного композита // Механика композиционных материалов и конструкций. 2013. Т. 19. № 1. С. 105-116.

01.01.03

М.Ю. Федотова к.ф. – м.н.

Уфимский институт путей сообщения филиал Самарского государственного университета
 путей сообщения, кафедра общеобразовательных и специальных дисциплин,
 Уфа, mar75852@gmail.com

О СХОДИМОСТИ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ СО СМЕНОЙ ТИПА ГРАНИЧНОГО УСЛОВИЯ НА УЗКОЙ ПОЛОСКЕ

В работе исследуется сходимость решений сингулярно – возмущенной краевой задачи Дирихле в трехмерной ограниченной области со сменой типа граничного условия на узкой полосе.

Ключевые слова: *краевая задача; сингулярные возмущения; оператор Лапласа.*

Обозначим через Ω односвязную ограниченную область в $\mathbf{R}^3$ с бесконечно дифференцируемой границей Γ . Пусть γ – замкнутая кривая без самопересечений, лежащая на Γ , а s – натуральный параметр этой кривой, $0 \leq s \leq s_0$. Через каждую точку кривой γ , перпендикулярно к ней проведем геодезическую кривую поверхности Γ . Обозначим через t – натуральный параметр этой кривой ($t = 0$ соответствует точке на кривой γ). Пусть, далее $\omega_\varepsilon = \{x \in \Gamma : s \in \gamma, t \in (-\varepsilon; \varepsilon)\}$, где ε – малый параметр ($0 < \varepsilon \ll 1$).

Обозначим через γ_ε – произвольную открытую полоску, лежащую в ω_ε ; $\Gamma_\varepsilon = \Gamma \setminus \overline{\gamma_\varepsilon}$, а через τ – внешнюю нормаль.

В работе рассмотрены сингулярные возмущения задачи Дирихле

$$-\Delta u_0 = \lambda u_0 + f \text{ в } \Omega, \quad u_0 = 0 \text{ на } \Gamma \quad (1)$$

заданием условия Неймана на узкой полосе

$$-\Delta u_\varepsilon = \lambda u_\varepsilon + f \text{ в } \Omega, \quad \frac{\partial u_\varepsilon}{\partial \tau} = 0 \text{ на } \gamma_\varepsilon, \quad u_\varepsilon = 0 \text{ на } \Gamma_\varepsilon. \quad (2)$$

Будем называть задачу (2) возмущенной, а задачу (1) предельной.

Следует отметить, что краевые задачи для лапласиана в трехмерных областях в случае, когда в области есть малая полость, на границе которой, задается условие Неймана, были рассмотрены в [1]. Задачи со сменой типа граничного условия на малой части границы, стягивающейся в точку, были изучены в [2], [3]. Исследуемая задача является в определенном смысле развитием этих постановок.

Пусть всюду далее $L_2(G)$ и $W_2^1(G)$ – пространства Соболева с нормами $\|\bullet\|_{0,G}$ и $\|\bullet\|_{1,G}$ соответственно, $(\bullet, \bullet)$ – скалярное произведение функций в $L_2(G)$, а $W_2^1(G; \delta)$ – замыкание в норме $W_2^1(G)$ функций из $C^\infty(\overline{G})$, равных нулю вблизи $\delta \subset \partial G$.

Решения краевых задач (1) и (2), где $f \in L_2(\Omega)$ рассматриваются в смысле теории распределений [4]. Это означает, что под решением краевой задачи (1) будем понимать элемент $u_0 \in W_2^1(\Omega)$, удовлетворяющий интегральному тождеству

$$(\nabla u_0, \nabla \eta) = \lambda(u_0, \eta) + (f, \eta) \quad (3)$$

при любом $\eta \in W_2^1(\Omega)$. Аналогично, под решением сингулярно возмущенной краевой задачи (2) будем понимать элемент $u_\varepsilon \in W_2^1(\Omega; \gamma_\varepsilon)$, удовлетворяющий равенству

$$(\nabla u_\varepsilon, \nabla \eta) = \lambda(u_\varepsilon, \eta) + (f, \eta) \quad (4)$$

при любом $\eta \in W_2^1(\Omega; \gamma_\varepsilon)$.

Основной целью работы является доказательство следующего утверждения.

Теорема. Пусть $f \in L_2(\Omega)$, K – произвольный компакт в комплексной плоскости $\mathbb{C}$, не содержащий собственных значений краевой задачи

$$-\Delta \psi_0 = \lambda_0 \psi_0 \text{ в } \Omega, \quad \psi_0 = 0 \text{ на } \Gamma.$$

Тогда существует число $\varepsilon_0 > 0$ такое, что при любом $\varepsilon < \varepsilon_0$ и любом $\lambda \in K$ существует единственное решение u_ε возмущенной краевой задачи (2) и для ее решения справедлива равномерная по λ и ε оценка

$$\|u_\varepsilon\|_{1,\Omega} \leq C \|f\|_{0,\Omega}. \quad (5)$$

При $\varepsilon \rightarrow 0$ для решений возмущенной задачи (2) имеет место равномерная по λ сходимость

$$\|u_\varepsilon - u_0\|_{1,\Omega} \rightarrow 0. \quad (6)$$

Доказательство теоремы. Очевидно, что для доказательства однозначной разрешимости возмущенной задачи достаточно показать справедливость оценки (5). Подставляя в (4) $u = \eta = u_\varepsilon$, получаем равномерную оценку

$$\|u_\varepsilon\|_{1,\Omega} \leq C_1 (\|f\|_{0,\Omega} + \|u_\varepsilon\|_{0,\Omega}), \quad (8)$$

причем C_1 не зависит от λ и ε .

Допустим, что оценка (5) неверна. Это означает, что существуют последовательности $\varepsilon_k \rightarrow 0$ при $k \rightarrow \infty$, $f_k \in L_2(\Omega)$, $\lambda_k \in K$ такие, что при $\varepsilon = \varepsilon_k$, $\lambda = \lambda_k$ и $f = f_k$ для решений (2) имеет место неравенство

$$\|u_{\varepsilon_k}\|_{1,\Omega} > k \|f_k\|_{0,\Omega}. \quad (9)$$

Не ограничивая общности, будем считать, что $\|u_{\varepsilon_k}\|_{0,\Omega} = 1$. Тогда из (8), (9) следует, что при $k \rightarrow \infty$

$$\|u_{\varepsilon_k}\|_{1,\Omega} \leq 2C_1, \quad (10)$$

$$\|f_k\|_{0,\Omega} \rightarrow 0. \quad (11)$$

В силу того, что K – компакт, ограниченное множество в $W_2^1(\Omega)$ слабо компактно, а $W_2^1(\Omega)$ компактно вкладывается в $L_2(\Omega)$ (см., например, [5]), получаем, что существует подпоследовательность $\{u_{\varepsilon_{k_m}}\}_{m=1}^\infty$ такая, что при $m \rightarrow \infty$ справедливы следующие предложения.

Предложение 1. $u_{\varepsilon_{k_m}} \rightarrow u_* \in W_2^1(\Omega)$ слабо в $W_2^1(\Omega)$, сильно в $L_2(\Omega)$, $u_* \neq 0$.

Предложение 2. $\lambda_{\varepsilon_{k_m}} \rightarrow \lambda_* \in K$.

Так как $W_2^1(\Omega; \Gamma) \subset W_2^1(\Omega; \Gamma_\varepsilon)$, то при любом фиксированном $\eta \in W_2^1(\Omega; \Gamma)$, переходя к пределу в (4) при $u = u_{\varepsilon_{k_m}}$, $\lambda = \lambda_{\varepsilon_{k_m}}$, $f = f_{\varepsilon_{k_m}}$, в силу (11), предложения 1 и предложения 2 получаем справедливость следующего соотношения

$$(\nabla u_*, \nabla \eta) = \lambda_*(u_*, \eta). \quad (12)$$

Так как оператор сужения из $W_2^1(\Omega)$ в $L_2(\Gamma)$ ограничен, то для любого $g \in L_2(\Gamma)$ справедлива сходимость $(g, u_{\varepsilon_{k_m}}) \rightarrow (g, u_*)$ на поверхности Γ . С другой стороны, так как $u_{\varepsilon_{k_m}} \in W_2^1(\Omega; \Gamma_\varepsilon)$, то на Γ

$$|(u_{\varepsilon_{k_m}}, g)| \leq \|u_{\varepsilon_{k_m}}\|_{0,\Gamma} \|g\|_{0,\Gamma_\varepsilon} \leq C_1 \|u_{\varepsilon_{k_m}}\|_{1,\Omega} \|g\|_{0,\Gamma_\varepsilon} \rightarrow 0.$$

И, значит, $u_* = 0$ на Γ . В свою очередь, это означает, что функция $u_* \in W_2^1(\Omega; \Gamma)$.

Так как $u_* \neq 0$, то из (12) и $u_* \in W_2^1(\Omega; \Gamma)$ следует, что λ_* – собственное значение предельной задачи (1). Однако, согласно предложению 2 $\lambda_* \in K$. Из полученного противоречия следует справедливость соотношения (5).

Покажем справедливость соотношения (6). Предположим, что $\lambda_* \in K$ – произвольное фиксированное число, а $\{\varepsilon_k\}_{k=1}^\infty$ – произвольная последовательность, сходящаяся к нулю при $k \rightarrow \infty$. Из (5), слабой компактности ограниченного множества в $W_2^1(\Omega)$, компактности вложения $W_2^1(\Omega)$ в $L_2(\Omega)$ и ограниченности оператора сужения из $W_2^1(\Omega)$ в $L_2(\Gamma)$ следует, что существует подпоследовательность $\{\varepsilon_{k_m}\}_{m=1}^\infty$ такая, что на ней справедливо предложение 1 и $u_* \in W_2^1(\Omega; \Gamma)$.

Переходя, далее к пределу в (4), учитывая предложение 1, $u_* \in W_{2,0}^1(\Omega; \Gamma)$ и единственность решения предельной задачи, получаем, что $u_* = u_0$. Подставляя в (4) $u = \eta = u_{\varepsilon_{k_m}}$ и учитывая сходимости в $L_2(\Omega)$, получаем

$$\|u_{\varepsilon_{k_m}}\|_{1,\Omega} \rightarrow \|u_0\|_{1,\Omega}.$$

Отсюда, учитывая слабую сходимость $u_{\varepsilon_{k_m}}$ в норме $W_2^1(\Omega)$, следует сильная сходимость в этой норме. Отсюда, в силу произвола в выборе $\{\varepsilon_k\}_{k=1}^\infty$ получаем справедливость сходимости (6). Теорема доказана.

В заключение заметим, что асимптотики собственных элементов лапласиана с сингулярными возмущениями граничных условий на узких и тонких множествах были построены в [6], [7]. Однако доказанная теорема является ключевой при строгом обосновании данных асимптотик.

Список литературы

1. Мазья В.Г., Назаров С.А., Пламеневский Б.А. Асимптотические разложения собственных чисел краевых задач в областях с малыми отверстиями // Известия Академии наук СССР. Серия математика. – 1984. – Т.48. №2. – С. 347-371.
2. Гадыльшин Р.Р. Асимптотика собственного значения сингулярно возмущенной эллиптической задачи с малым параметром в граничном условии // Дифференциальные уравнения. – 1986. – Т.22. № 4. – С. 640-652.
3. Гадыльшин Р.Р. Расщепление кратного собственного значения задачи Дирихле для оператора Лапласа при сингулярном возмущении граничного условия // Математические заметки. – 1992. – Т.52. №4. – С. 42-55.
4. Ладыженская О.А. Краевые задачи математической физики / О.А. Ладыженская. – М.: Наука. – 1973. – 407 с.
5. Михайлов В.П. Дифференциальные уравнения в частных производных / В.П. Михайлов. – М.: Наука. – 1976. – 400 с.
6. Планида М.Ю. Асимптотики собственных элементов лапласиана с сингулярными возмущениями граничных условий на узких и тонких множествах // Математический сборник. – 2005. – Т.196. № 5. – С.83-120.
7. Планида М.Ю. Асимптотики собственных значений оператора Лапласа со сменой типа граничного условия на узкой уплощенной полосе // Математические заметки. – 2004. – Т.75. №2. – С.236-252.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.15

¹А.С. Торозова, ¹В.П. Молчанов, ²П. Мяки-Арвела, ³К.П. Волчо,
³Н.Ф. Салахутдинов, ²Д.Ю. Мурзин

¹Тверской государственный технический университет, Химико-технологический факультет,
Кафедра биотехнологии и химии, Тверь

²Университет Або Академи, Турку, Финляндия

³Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения
РАН, Новосибирск, dmitry.murzin@abo.fi

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ИЗОМЕРИЗАЦИЯ ЭПОКСИДА ВЕРБЕНОЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕОЛИТОВ

В данной работе представлены результаты по изучению изомеризации эпоксида вербенола на цеолитах с различной структурой: H-USY-80 и H-ZSM-5-80. Целевым продуктом изомеризации является транс-диол ((1R,2R,6S)-3-метил-6-(проп-1-ен-2-ил)циклогекс-3-ен-1,2-диол), обладающий высокой активностью в отношении симптомов болезни Паркинсона.

Ключевые слова: цеолиты, изомеризация, эпоксид вербенола, противосудорожная активность.

Новые биологически активные вещества могут быть получены из различных соединений, выделенных из природных источников или из отходов промышленности, связанной с переработкой хвойных пород деревьев. К таким соединениям, например, относятся α -пинен и вербенон. α -Пинен является основным составляющим скипидара. Вербенон, который принадлежит к группе оксигенированных терпенов, содержится в сосне (*Pinus sylvestris*), а также может быть получен из α -пинена. Эпоксид вербенола, синтезируемый из вербенона в две стадии, при изомеризации дает (1R,2R,6S)-3-метил-6-(проп-1-ен-2-ил)циклогекс-3-ен-1,2-диол (рисунок 1), который обладает выраженной противосудорожной активностью [1], а также такие побочные продукты, как гидроксикетон и оксетан.



Рис.1 – а) эпоксид вербенола, б) (1R,2R,6S)-3-метил-6-(проп-1-ен-2-ил)циклогекс-3-ен-1,2-диол

Синтез диола был осуществлен ранее в присутствии глины K10 [1] и модифицированных цеолитов [2]. Целью настоящей работы было исследование немодифицированных цеолитов с различной структурой для селективной изомеризации эпоксида вербенола.

Экспериментальная часть. Катализаторы H-USY-80 и H-ZSM-5-80 были охарактеризованы с помощью методов физической сорбции азота и адсорбции/десорбции пиридина.

Измерения методом физической сорбции азота проводили с использованием прибора Sorptomatic 1900. Подготовка образцов была осуществлена путем дегазации при 150°C в течение 3 ч. Удельная поверхность и объем микропор были рассчитаны по методу Дубинина.

Кислотность поверхности катализаторов была определена с использованием прибора для инфракрасной Фурье-спектроскопии ATI Mattson. В качестве молекулы-зонда использовался пиридин (Sigma-Aldrich, ≥ 99.5). Чтобы получить распределение слабых, средних и сильных брэнстедовских и льюисовских кислотных центров при десорбции пиридина, исследование проводилось, соответственно, в диапазоне температур: 250°C, 350°C и 450°C.

Эпоксид вербенола был синтезирован в Новосибирском институте органической химии им. Н.Н. Ворожцова с чистотой 87.5%, определенной методом ЯМР. Эксперименты по изомеризации проводились в четырехгорлой стеклянной колбе объемом 250 мл, используя безводный диметилацетамид ($\geq 99.8\%$) в качестве растворителя. Условия проведения реакции в среде инертного газа были следующие: температура 140°C, скорость перемешивания 390 оборотов в минуту. В колбу загружали катализатор (размер частиц цеолитов менее 90 мкм) и выдерживали его в течение 30 мин при температуре 250°C. Далее вносили растворитель объемом 100 мл и при достижении температуры 140°C – эпоксид вербенола. С этого момента начинался отсчет времени эксперимента. Пробы отбирали через определенные промежутки времени, а затем фильтровали для газовой хроматографии и масс-спектрометрии, чтобы избежать попадания частиц катализатора в колонку хроматографа.

Результаты и обсуждение. Удельная площадь поверхности и объем микропор катализаторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Удельная площадь поверхности и объем микропор катализаторов

Катализатор	Удельная площадь поверхности, м ² /г	Объем микропор, см ³ /г
H-USY-80	803	0.29
H-ZSM-5-80	570	0.20

Удельная площадь поверхности, как и объем микропор, несколько ниже для H-ZSM-5.

Кислотность, определенная с помощью метода адсорбции/десорбции пиридина с использованием прибора для инфракрасной Фурье-спектроскопии, представлена в таблице 2. Три температуры были использованы для десорбции пиридина: 250°C, что соответствует всем кислотным центрам, (слабым, средним и сильным), 350°C, отражающая средней силы и сильные кислотные центры, и 450°C, отвечающая за сильные кислотные центры.

Таблица 2 – Кислотность катализаторов

Катализатор	Кислотные центры Бренстеда			Кислотные центры Льюиса		
	250°C	350°C	450°C	250°C	350°C	450°C
H-USY-80	14	7	4	19	6	3
H-ZSM-5-80	177	156	122	25	3	2

Исходя из соотношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=80$ для цеолитов H-USY-80 и H-ZSM-5-80, кислотность данных катализаторов должна быть примерно в одном интервале значений, что не удалось подтвердить инфракрасной Фурье-спектроскопией при использовании пиридина в качестве зонда. Исходя из размера молекулы-зонда, можно предположить, что пиридин не способен эффективно проникать в поры H-ZSM-5-80.

Каталитическое тестирование проводили в течение 3 ч, используя 75 мг катализатора, начальная концентрация эпоксид вербенола составляла 0.016 моль/л.

Кинетические данные представлены на рисунках 2-3 и в таблице 3.

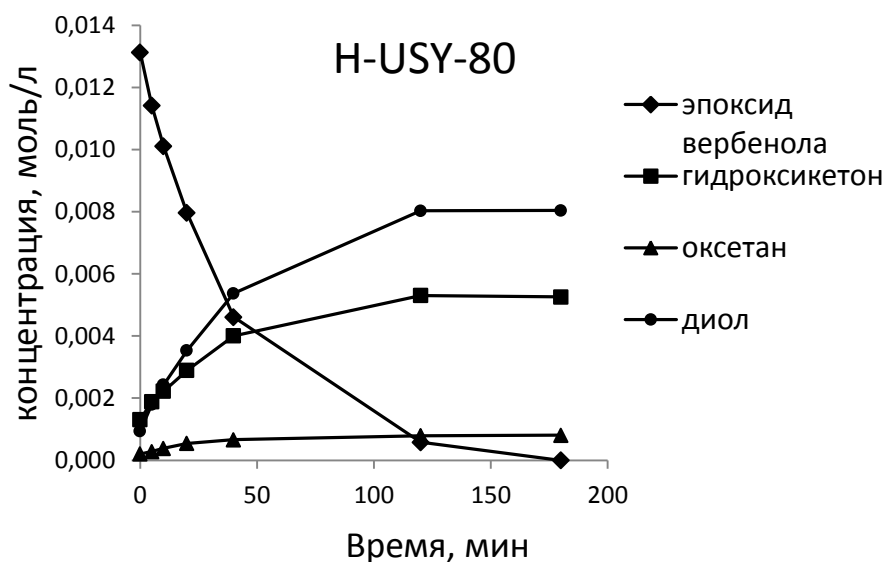


Рис.2 – Зависимость концентраций эпоксид вербенола и продуктов его изомеризации от времени для катализатора H-USY-80

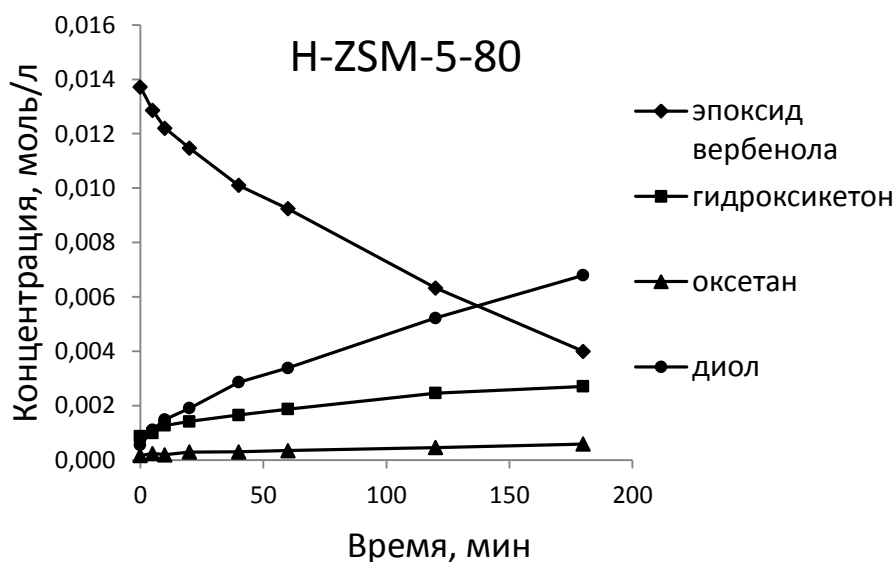


Рис.3 – Зависимость концентраций эпоксид вербенола и продуктов его изомеризации от времени для катализатора H-ZSM-5-80

Из представленных графиков видно, что в случае катализатора H-USY-80 процесс изомеризации протекает гораздо быстрее и со 100% конверсией. Для катализатора H-ZSM-5-80 реакция идет с более высокой селективностью, но в данных условиях за время эксперимента не была достигнута 100% конверсия.

Таблица 3 – Начальная скорость реакции, конверсия и селективность по целевому продукту для исследованных катализаторов

Катализатор	Начальная скорость, моль/л в мин на г катализатора	Конверсия (после 3 ч), %	Селективность, %
H-USY-80	0.076	100	50
H-ZSM-5-80	0.058	75	57

Для цеолита H-ZSM-5-80 начальная скорость реакции меньше вследствие размера пор, когда диаметр эпоксида вербенола значительно его превышает. Как следует из результатов, представленных на рисунках 2-3 и в таблице 3, катализатор H-USY-80 является более активным, однако H-ZSM-5-80 показал большую селективность по целевому продукту, диолу. Поэтому было проведено дополнительное исследование катализатора H-ZSM-5-80 в течение 5 ч. При этом было отмечено незначительное увеличение конверсии, что говорит о дезактивации катализатора.

Таким образом, можно сделать следующие выводы: на катализаторе H-ZSM-5-80 не могла быть достигнута 100% конверсия в условиях опыта, так как дезактивация имела место, но значение селективности было выше, чем в случае H-USY-80, что говорит о важной роли именно средних и слабых кислотных центров в образовании целевого продукта; катализатор H-USY-80 показал себя более активным по сравнению с H-ZSM-5-80 (выход составил 50%).

Список литературы

1. *Il'ina, I.V.; Kurbakova, S.Yu.; Volcho, K.P.; Salakhutdinov, N.F.*; Effect of the nature of exchange cations in montmorillonite clay on the direction of verbenol epoxide transformations, *Chemistry for Sustainable Development*, 18, 2010, p.377-380.
2. *Stekrova, M.; Kumar, N.; Mäki-Arvela, P.; Aho, A.; Volcho, K.P.; Salakhutdinov, N.F.; Murzin, D. Yu.*; Opening of monoterpene epoxide to a potent anti-Parkinson compound of *para*-menthane structure over heterogeneous catalysts; *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 110, 2013, p.449-458.

02.00.01

Е.А.Фарберова, Л.И.Павлова, Е.А.Тиньгаева, В.Г. Рябов, Е.М. Великий

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
химико-технологический факультет, кафедра химии и биотехнологии,
ОАО «Сорбент», Пермь, teengaeva@mail.ru

АДСОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНТРАЦИТА

В работе представлены результаты изучения свойств дробленых и гранулированных активных углей, полученных на основе антрацита. Исследовано влияние модифицирующих добавок КОН и K_2CO_3 , используемых на разных стадиях технологического процесса переработки антрацита на свойства получаемых активных углей на его основе. Показана возможность использования антрацита Ростовского месторождения в качестве сырья для получения ГАУ.

Ключевые слова: *ископаемые каменные угли, активные угли, антрацит, каменноугольная смола, адсорбционная активность.*

С учетом постоянного роста объемов использования активных углей в природоохранных целях и в технологических процессах актуальной является задача разработки методов получения активных углей из доступного и дешевого природного сырья [1]. Особый интерес представляет использование в качестве сырья антрацита, добываемого в различных регионах страны.

Антрацит – ископаемый уголь наиболее высокой степени углефикации. Степень ароматичности, определяемая по методу ван Кревелена [2], имеет максимальное значение и приближается к 1. В работе исследован образец антрацита Ростовского месторождения. Выход летучих веществ для данного образца составил всего 1.5 %, содержание минеральных компонентов – около 5 %. Определён элементный состав органической части образца антрацита: массовая доля углерода составила 95.2 %, водорода – 1.5 %, а кислорода – 3.3 %.

Антрацит является довольно плотным углеродным материалом, характеризуется низкой реакционной способностью по отношению к активирующим агентам и высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред и к истиранию.

Поведение антрацита при его термическом модифицировании в диапазоне температур 30–1000°C изучали методом термогравиметрического анализа. Как видно из таблицы 1, для антрацита наблюдается очень незначительная потеря массы при нагревании: максимальная потеря массы происходила при температуре 1000°C, при этом общая потеря массы составила всего 6.94 %.

Таблица 1 – Термогравиметрический анализ антрацита г. Новосибирск

Потеря массы, %	T, °C
0.900±0.005	20–220
0.660±0.004	221–511
1.810±0.090	512–745
3.570±0.100	746–1000

При использовании антрацита в качестве основы активных углей большое значение имеет его реакционная способность по отношению к активирующим агентам – перегретому водному пару или диоксиду углерода.

С помощью метода термического анализа проведены исследования кинетических характеристик антрацита в среде диоксида углерода, при температурах 800, 850, 900, 950°C.

Результаты исследований приведены в таблице 2, антрацит обладает высокой энергией активации, что свидетельствует о его низкой реакционной способности в процессе активации.

В последнее время особое внимание уделяется применению методов химической активации при получении активных углей. В качестве активирующих реагентов часто используют гидроксид калия, фосфорную и азотную кислоты [3–5]. В работах ряда ученых [6] высказано предположение, что активация углеродного материала действием КОН и других реагентов сопровождается окислением углерода до СО и СО₂, что приводит к созданию пористой структуры.

Были приготовлены образцы антрацита, импрегнированные растворами гидроксида калия и карбоната калия и проведены исследования их кинетических характеристик (таблица 2).

Таблица 2–Кинетические характеристики активных углей на основе антрацита

Образец	lg(k ₀)	E _{акт} , кДж/моль	Порядок реакции
Антрацит	6.52	226±7	0.14
Антрацит, модифицированный K ₂ CO ₃	1.20	74±3	0.63
Антрацит, модифицированный КОН	1.80	73±3	0.42
Гранулы антрацита (ГАУ)	2.13	123±5	0.17

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что модифицирование неорганическим реагентом приводит к существенному снижению энергии активации (более чем в 3 раза).

Проведены исследования по применению антрацита в качестве углеродсодержащего сырья в производстве дробленых активных углей. При получении ДАУ придерживались традиционной схемы переработки углеродсодержащего сырья в активный уголь. Процесс получения ДАУ включает следующие стадии: дробление исходного сырья, его рассев, сушку при температуре 150°C, карбонизацию в среде СО₂ при T=500°C, обезлетучивание при T=800°C и активацию водяным паром при T=900°C. В таблице 3 представлены характеристики полупродуктов по стадиям переработки антрацита в ДАУ.

Таблица 3–Результаты анализа полупродуктов переработки антрацита в ДАУ.

Стадия процесса	Характеристики образцов полупродуктов по стадиям процесса		
	Насыпная плотность, г/дм ³	Прочность при истирании, %	Суммарный объём пор, см ³ /г
Сушка	880±10	87±2	0.041±0.002
Карбонизация	952±10	88±3	0.052±0.002
Обезлетучивание	951±10	88±3	0.075±0.003
Активация, степень обгара, %			
15.4	850±8	84±2	0.100±0.005
42.7	714±7	63±2	0.27±0.01
50.5	668±7	57±2	0.32±0.02
64.5	555±6	52±1	0.39±0.02

Антрацит имеет низкую реакционную способность (количество активаций в лабораторной печи активации–9). Его преимуществом является низкая зольность готового продукта–8,7%. При увеличении степени обгара углеродной массы антрацита наблюдается резкое снижение прочности АУ до 52%, однако при этом пористость продукта практически не развивается.

Предварительное модифицирование антрацита карбонатом калия привело к росту скорости активации (количество активаций–4), однако полученный образец имел низкую механическую прочность(60 %) и суммарный объём пор составил всего лишь 0,45 см³/г (таблица 4).

Таблица 4–Результаты анализа полупродуктов переработки антрацита, модифицированного K_2CO_3 в ГАУ

Стадия процесса	Характеристики образцов полупродуктов по стадиям процесса		
	Насыпная плотность, г/дм ³	Прочность при истирании, %	Суммарный объём пор, см ³ /г
Сушка	960±10	90±4	0.051±0.005
Карбонизация	947±10	90±4	0.192±0.007
Обезлетучивание	939±10	-	-
Активация, степень обгара, %			
17.5	894±9	83±3	0.10±0.01
32.5	760±7	77±2	0.20±0.02
47.0	664±7	69±2	0.28±0.02
62.1	586±6	60±2	0.45±0.02

Сделано предположение о возможности применения антрацита в качестве углеродсодержащего сырья в производстве гранулированных активных углей (ГАУ).

Антрацит, размолотый до размера частиц менее 0,1 мм, смешивали с каменноугольной смолой (КУС) в соотношении 70 : 30. Формование гранул УСК проводили на шнековом грануляторе через фильеры с диаметром 4,0 мм. Сформованные гранулы были высушены на воздухе. После высушивания гранулы подвергались карбонизации в лабораторной печи при температуре 450–500°C в среде CO_2 , активации в лабораторной печи при температуре 850°C в среде перегретого водяного пара. Результаты, приведённые в таблице 5 свидетельствуют о возможности получения высокопрочного ГАУ на основе антрацита с суммарным объёмом пор 0,71 см³/г. Однако скорость процесса активации мала (количество активаций–7). Кинетические характеристики для данного образца ГАУ приведены в таблице 2.

Таблица 5– Результаты анализа полупродуктов переработки антрацита в ГАУ

Стадия процесса	Характеристики образцов полупродуктов по стадиям процесса		
	Насыпная плотность, г/дм ³	Прочность при истирании, %	Суммарный объём пор, см ³ /г
Карбонизация	670±8	91±5	0.32±0.02
Обезлетучивание	693±8	93±5	0.30±0.02
Активация, степень обгара, %			
38.7	553±6	89±4	0.58±0.05
45.3	530±6	87±4	0.65±0.05
50.5	515±5	86±4	0.71±0.05
56.4	494±5	86±4	0.71±0.05

Применение антрацита для получения гранулированных активных углей позволяет повысить реакционную способность полупродукта, энергия активации в этом случае снижается по сравнению с дроблённым антрацитом в 2 раза.

Введение в состав пасты (угольно-смоляной композиции) активирующей химической добавки гидроксида калия привело к возрастанию скорости активации (количество активаций в лабораторной печи–4). В таблице 6 приведены характеристики полупродуктов по стадиям их получения для образца ГАУ, изготовленного путём гранулирования композиции, состоящей из антрацита, каменноугольной смолы и гидроксида калия.

Таблица 6– Результаты анализа полупродуктов переработки антрацита в ГАУ с активирующей добавкой КОН

Стадия процесса	Характеристики образцов полупродуктов по стадиям процесса		
	Насыпная плотность, г/дм ³	Прочность при истирании, %	Суммарный объём пор, см ³ /г
Карбонизация	655±7	85±3	0.32±0.02
Обезлетучивание	703±7	89±3	0.33±0.02
Активация, степень обгара, %			
45.5	525±6	76±2	0.65±0.05
53.0	497±5	70±2	0.71±0.05

В таблице 7 представлены показатели качества образцов активных углей ДАУ и ГАУ, полученных на основе антрацита Ростовского месторождения, в сравнении с требованиями НД.

Таблица 7–Характеристики образцов ДАУ и ГАУ, полученных с использованием антрацита

Показатели	Норма по НД	ДАУ		ГАУ	
		Без добавки	Добавка К ₂ СО ₃	Без добавки	Добавка КОН
Массовая доля воды, %, не более	10.0	0.7±0.003	1.1±0.005	0.9±0.005	1.4±0.006
Массовая доля золы, %, не более	15.0	8.7±0.8	13.7±1.1	15.9±1.3	14.4±1.2
Насыпная плотность, г/дм ³	-	555±6	583±6	494±5	497±5
Прочность при истирании, %, не менее	80	52±3	60±4	86±6	70±5
Суммарный объём пор, см ³ /г	-	0.39±0.03	0.45±0.05	0.71±0.06	0.71±0.06
Адсорбционная активность по йоду, мг/г	950–1050	800±8	697±7	1093±10	1032±10
Равновесная активность по толуолу, г/дм ³ , не менее	150	122±11	61±7	157±14	131±12
Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г	-	140±13	114±11	260±19	228±17

ДАУ на основе антрацита имеет низкую адсорбционную активность по всем показателям: по толуолу – 122 г/дм³, по йоду – 800 мг/г.

Как следует из данных таблицы 7, модифицированный антрацит имеет высокую реакционную способность однако адсорбционные свойства ДАУ на его основе снижаются по сравнению с исходным антрацитом (по йоду – 697 мг/г) при близкой степени обгара (62 и 64%).

Образец гранулированного АУ, полученный на основе антрацита, по всем показателям соответствует требованиям, имеет высокую адсорбционную активность по толуолу (157 мг/г), по йоду (1093 мг/г), а также высокую прочность при истирании (86 %). Введение в УСК на основе антрацита КОН в количестве 2 % от массы УСК в виде 40%-ного водного раствора привело к снижению адсорбционных свойств по толуолу (131 мг/г), по йоду (1032 мг/г), а также к снижению прочности при истирании (70 %).

На основании полученных результатов установлено, что антрацит может быть использован, как сырье для получения гранулированных активных углей, так как обеспечивает получение качественных активных углей по основным показателям: сорбционным характеристикам, пористости и прочности при истирании.

ДАУ, приготовленный на основе Ростовского антрацита, по своим свойствам не соответствует нормам, предъявляемым к ДАУ. Однако и он может найти применение в тех случаях, когда прочность угля при истирании не так важна.

В работе представлены результаты собственных исследований, выполненных в соответствии с постановлением Правительства России № 218 от 09.04. 2010 г.

«О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичных производств» по теме «Создание высокотехнологичного адаптивного производства углеродных сорбентов и фильтрующих материалов, как основы отечественной сорбционной, экологической и противогазовой техники нового поколения».

Список литературы

1. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России.– 2000.– М.: Металлургия.– 352 с.
2. Гагарин С.Г., Лесникова Е.Б., Шуляковская Л.В. и др. Оценка степени ароматичности структуры бурых углей//Химия твердого топлива.–1993.–№1. С.3–11.
3. Кузнецов Б.Н., Щипко М.Л. и др. Получение пористых углеродных материалов высокоскоростным нагревом и предварительной химической модификацией антрацитов//Химия в интересах устойчивого развития.–2005.–№ 13.–С.521–529.
4. Курилкин А.А., Мухин В.М. и др. Углеродные адсорбенты, модифицированные гидроксидом калия//Сорбционные и хроматографические процессы.–2010.–Т.10, В. 4.– С.515–521.
5. Мухин В.М., Учанов П.В. Получение активного угля на основе антрацита. Исследование его пористости и адсорбционных свойств// Успехи в химии и химической технологии.–2013.–Т. 27, № 9.– С.35–40.
6. Marsh H., Yan D.S. Formation of activated carbons from cokes using potassium Hydroxide.//Carbon–1984. V.22.–№ 6.–P.603–611.

02.00.01

Е.А. Фарберова, Н.А. Чиркова, Н.Б. Ходяшев, Е.А. Тиньгаева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
химико-технологический факультет, кафедра химии и биотехнологии,
Пермь, teengaeva@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В работе представлены результаты изучения ископаемых каменных углей методом инфракрасной спектроскопии. Установлена возможность использования указанного метода для определения степени ароматичности значительной группы ископаемых с целью прогнозирования их пригодности для получения активных углей.

Ключевые слова: ископаемые каменные угли, активные угли, инфракрасная спектроскопия, степень метаморфизма, степень ароматичности.

В технологии получения активных углей используются ископаемые каменные угли. На качество активных углей в значительной степени влияет структура и состав исходного сырья: выход летучих веществ, содержание углерода, вещественный состав.

Реакционную способность каменных углей при их термической переработке с последующим получением высококачественных активных углей в значительной степени определяет степень ароматичности структуры органической массы угля [1].

Для определения степени ароматичности каменных углей традиционно применяют метод с использованием формулы, предложенной ван Кревеленом, и основанный на данных химического анализа вещества [2]:

$$f_a = \frac{(100 - V^A) \cdot 1200}{1240 \cdot C}, \quad (1)$$

где f_a – степень ароматичности по ван Кревелену;

V^A – выход летучих веществ, %;

C – содержание углерода в материале, %.

С.Г. Гагариным с соавторами предложен метод расчета степени ароматичности бурых углей с помощью эмпирических зависимостей, полученных с помощью данных метода ЯМР ^{13}C [3]:

$$f_a = 1.007 - 0.387 (\text{H/C}) - 0.3725 (\text{O/C}) \text{ и} \\ f_a = 1.197 - 0.5136 (\text{H/C}) - 0.6423 (\text{O/C}).$$

Атомные отношения H/C и O/C характеризуют соотношение между долей ароматических и алифатических фрагментов в углях.

Для оценки ароматичности углей Донецкого угольного бассейна использовали метод ИК-спектроскопии [4]. ИК-спектроскопия позволяет количественно охарактеризовать содержание в углях как функциональных кислородсодержащих OH- и CO-групп, так и CH_2 - алифатических и CH - ароматических групп атомов. Однако в работе отмечается, что для характеристики углей разных генетических типов, добываемых на шахте «Красноармейская Западная № 1», применение методов ИКС для характеристики углей не может служить надежным критерием их оценки [4].

Известно применение методов ИКС для определения соотношения алифатического и ароматического углеродов расчетом соотношения площадей характеристических пиков: на частоте 3030 см^{-1} для ароматических и на частоте $2850\text{--}2950 \text{ см}^{-1}$ для алифатических фрагментов при анализе витринитовых углей Донбасса [5] и при исследовании углей разной степени метаморфизма [6].

В настоящей работе рассматривается возможность определения степени ароматичности ископаемых углей с использованием метода инфракрасной спектроскопии по полосе поглощения нормальных колебаний связей углерод-углерод в бензольном кольце (ν_{CC}) [7].

Аппаратурное оформление и процедура определения ароматичности каменных углей выглядит следующим образом:

Определение индекса ароматичности проводилось на ИК-Фурье спектрометре Nicolet-380FT-1R. Проба ископаемого угля тщательно растиралась в агатовой ступке до пылеобразного состояния. Навеску измельченного угля массой 0.005 г взвешивали на лабораторных весах с точностью ± 0.0001 г и переносили в чистую агатовую ступку, куда с помощью микропипетки добавляли 400 мкл вазелинового масла и смесь тщательно растирали. Подготовленной смесью заполнялась разборная кювета с КВг-стеклами (32 x 3 мм). Толщина слоя анализируемой пробы составляла 0.2 мм. Перед началом съемки пробы углеродсодержащего материала производилась съемка спектра фона. Деление спектра образца на спектр фона позволяет устранить влияние, оказываемое прибором и атмосферными условиями и получить финальный спектр, все пики которого принадлежат только исследуемому образцу.

Съемка спектров пропускания производилась в диапазоне от 3500 см^{-1} до 400 см^{-1} . Спектр обрабатывался при помощи программного обеспечения OMNIC. Фиксировалась высота пика полосы поглощения с волновым числом $1600 \pm 20\text{ см}^{-1}$ (L_{1600}), соответствующей колебаниям связей углерод-углерод в бензольном кольце (ν_{CC}) и кажущаяся величина оптической плотности.

Измерялась высота пика полосы поглощения $1600 \pm 20\text{ см}^{-1}$ до базовой линии (L_{1600}). Базовую линию проводили через вершины двух ближайших максимумов пропускания (слева и справа) относительно положения пика с волновым числом $1600 \pm 20\text{ см}^{-1}$.

Кажущаяся величина оптической плотности определялась по формуле [7]:

$$D = \lg \frac{I_0}{I}, \quad (2)$$

где: I_0 – величина интенсивности излучения, соответствующая 100 %-ному пропусканию;

I – величина интенсивности прошедшего излучения, соответствующая максимуму полосы поглощения.

С целью отработки методики ИК-спектрометрического исследования углей были выбраны марки ископаемых углей с различными стадиями метаморфизма: бурый уголь, длиннопламенный уголь Шубаркольского разреза (Д), слабоспекающийся уголь Бачатского разреза (СС), тощий уголь (Т) и антрацит.

Ряд спектров исследуемых углей приведен на рис. 1– 4.

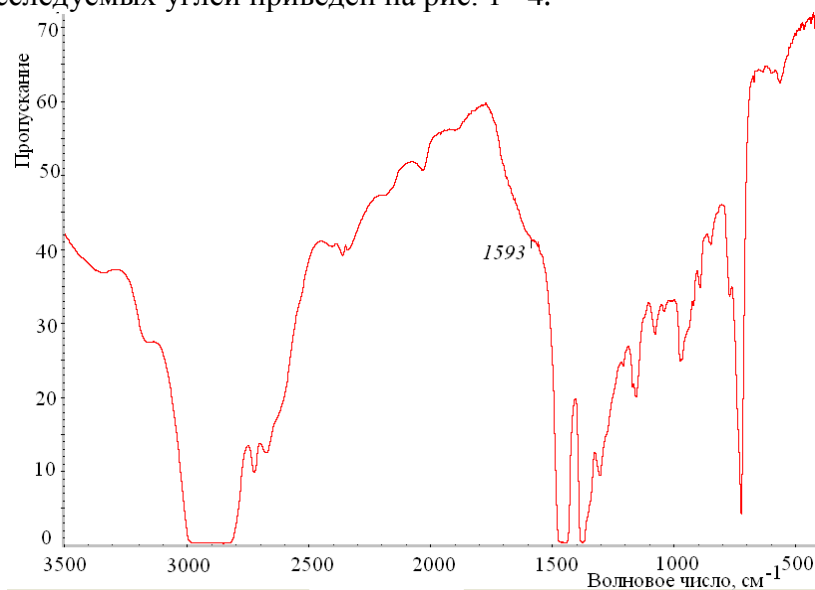


Рис.1 – ИК-спектр образца бурого угля

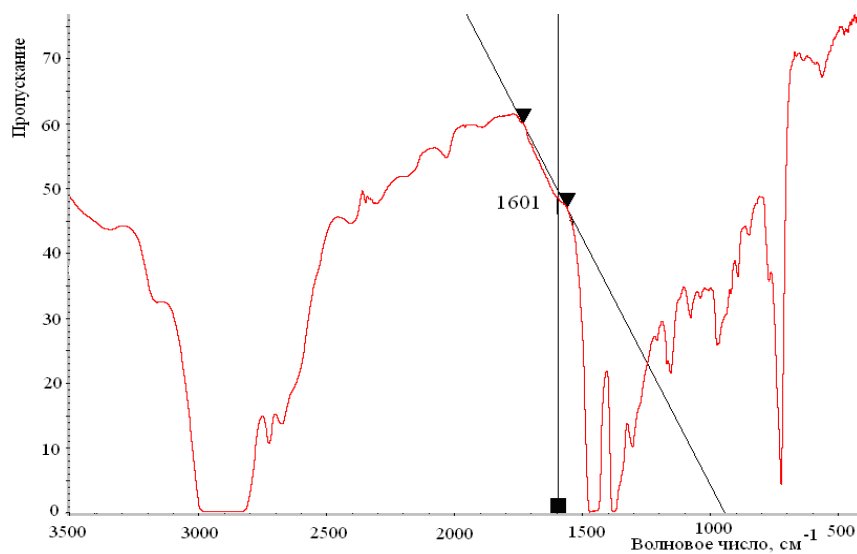


Рис.2 – ИК-спектр образца угля марки Д

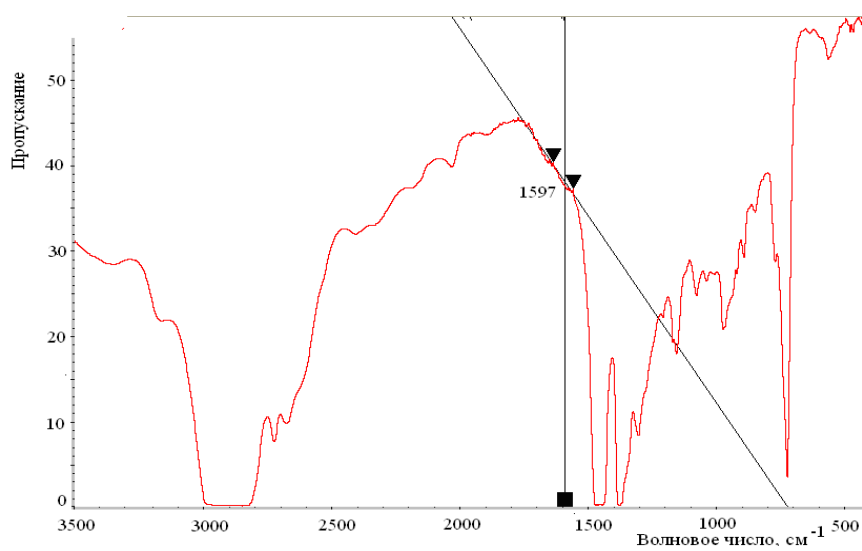


Рис.3 – ИК-спектр образца каменного угля марки Т

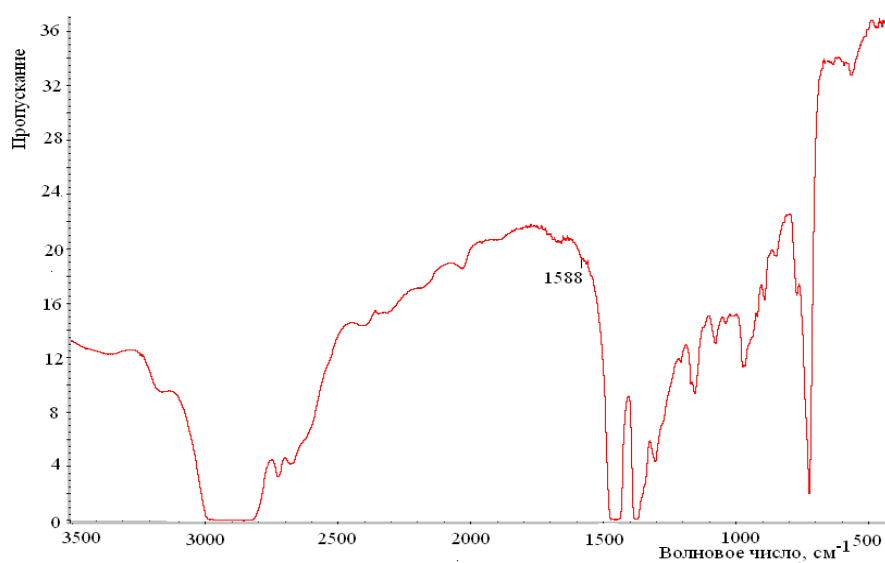


Рис.4 – ИК-спектр образца антрацита

Для оценки показателя ароматичности углей предложено использовать величину L_{1600} . Результаты определения L_{1600} представлены в таблице 1.

Таблица 1– Зависимость высоты пика полосы поглощения с волновым числом 1600см^{-1} для различных типов ископаемых углей

Марка угля	$L_{1600}, \%$
Бурый уголь	2.27 ± 0.01
Д	1.33 ± 0.01
СС	1.07 ± 0.01
Т	0.39 ± 0.01
Антрацит	0.09 ± 0.01

Как следует из результатов таблицы 1, наблюдается определённая качественная зависимость интенсивности колебаний связей углерод-углерод в бензольном кольце от степени метаморфизма ископаемых углей. Однако для получения количественной зависимости целесообразно использовать величину кажущейся оптической плотности.

Оценка кажущейся величины оптической плотности полосы поглощения, характеризующей колебания связей углерод-углерод в бензольном кольце, показала, что с увеличением степени метаморфизма оптическая плотность пробы возрастает. С учетом величины кажущейся оптической плотности исследуемых проб предложена формула для расчета степени ароматичности каменных углей с использованием метода ИК-спектроскопии:

$$f_a = \frac{D_{1600}}{0.525}, \quad (3)$$

где D_{1600} – величина кажущейся оптической плотности полосы поглощения с волновым числом 1600 см^{-1} ;

0.525–эмпирический коэффициент, полученный по результатам 6–10 параллельных измерений для образцов углей каждого типа.

В таблице 2 приведены результаты определения степени ароматичности предложенным методом и методом ван Кревелена для серии ископаемых углей.

Таблица 2– Результаты определения степени ароматичности ископаемых углей

Марка каменного угля	Содержание углерода, %	Выход летучих веществ, %	f_a по ван Кревелену	$D_{1600}, \%$	f_a по ИКС-методу
Бурый уголь	71.23	49.4	0.71	0.355	0.68
Длиннопламенный Д Шубаркольский разрез	79.83	41.2	0.71	0.367	0.70
Слабоспекающийся СС Бачатский разрез	86.59	25.0	0.84	0.439	0.84
Тощий Т	92.57	12.4	0.92	0.474	0.90
Антрацит	95.40	1.5	1.00	0.624	1.19

Результаты таблицы 2 показывают, что для основных групп ископаемых углей ошибка в определении степени ароматичности предлагаемым ИК-спектроскопическим методом по сравнению с величиной (f_a), определённой традиционным методом, не превышает 4.2 %. Исключение составляет завышенное значение величины степени ароматичности для антрацита. Последнее, очевидно, можно объяснить высокой плотностью антрацита, низким содержанием летучих веществ и, как следствие, недостаточной степенью его диспергирования в вазелиновом масле при подготовке пробы к анализу.

Таким образом, ИК-спектроскопический метод может быть рекомендован в качестве экспресс-метода определения степени ароматичности ископаемых углей в широком диапазоне её значений вплоть до $f_a = 0.90$.

В работе представлены результаты собственных исследований, выполненных в соответствии с постановлением Правительства России № 218 от 09.04. 2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичных производств» по теме «Создание высокотехнологичного адаптивного производства углеродных сорбентов и фильтрующих материалов, как основы отечественной сорбционной, экологической и противогазовой техники нового поколения».

Список литературы

1. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России.– 2000.– М.: Металлургия.– 352 с.
2. Van Krevelen D.V. Coal. Amsterdam –London–New York–Princeton: Elsevier Publishing Company, 1961. 514 p.
3. Гагарин С.Г., Лесникова Е.Б., Шуляковская Л.В. и др. Оценка степени ароматичности структуры бурых углей//Химия твердого топлива.–1993.–№1.– С.3–11.
4. Давидсон А.Р., Дроздник И.Д., Бидоленко Н.Б. Научное обоснование генетического типа и марочной принадлежности угля шахты «Красноармейская Западная № 1» //Углекимический журнал. – 2004. – № 3.– С. 12–16.
5. Подгаецкий А.В., Эпштейн С.А., Минаев В.И. О роли железосодержащих минеральных компонентов в формировании свойств углей //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).– 2012.– № 7.– С. 306–318.
6. Бурчак, А.В. Эффект изменения параметров ИК-спектров углей в ряду метаморфизма при механическом давлении / А.В. Бурчак, А.К. Балалаев // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць Ін-т Геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України Дніпропетровськ, 2010. – Вип.87.– С.190–198.
7. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия: Пер. с англ.–М.: Мир, 1982.–328 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.13.18

А.И. Акимов

Московский технологический институт «ВТУ», филиал в г. Оренбурге,
кафедра Информатики и автоматизации, Оренбург, akimoff11@mail.ru

ЗАДАЧА ОБ ОХЛАЖДЕНИИ СПЛОШНОГО МНОГОСЛОЙНОГО ЦИЛИНДРА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

В работе представлены результаты изучения охлаждения композиционных материалов под действием температуры окружающей среды после завершения полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП). Полученные сведения необходимы для разработки системы автоматического управления производством композиционных материалов, для исключения остаточных термонапряжений в изделиях.

Ключевые слова: производство композиционных материалов, системы управления, полимеризация, термонапряжения.

Как известно, композиционные материалы обладают уникальными упругими и прочными свойствами, поэтому их широко используют в аэрокосмической технике, производстве газотурбинных двигателей, в авиационной промышленности, вертолетостроении и во многих других областях.

Одним из методов изготовления их служит полимеризация в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП). Высокое качество изготовления таких изделий достигается при соблюдении определенных технических и технологических требований. Важнейшим фактором, сдерживающим применение большинства композиционных материалов, является серьезные проблемы технического характера, затрудняющие высокую степень реализации прочности в деталях. Для процесса полимеризации необходим режим равномерного прогрева и удержания температуры на определенном уровне с последующим плавным охлаждением. Для каждого этапа производства композиционных материалов разработаны определенные требования. Чтобы с большой точностью соблюдать эти требования, необходимо разработать автоматизированную систему управления (АСУ) производством композиционных материалов. Для разработки АСУ необходимо математическое моделирование каждого этапа производства композиционных материалов и провести математические расчеты, учитывая все требования производства.

В данной работе рассматривается охлаждение сплошного многослойного цилиндрического изделия из композиционных материалов в установках АВТП. Т.к. длина изделия значительно больше диаметра ($2R_0 \ll l$), то можно предположить, что цилиндр бесконечной длины.

Пусть цилиндр радиуса R_0 , нагрет до температуры $U_0(r, 0) = f(r)$ (r – расстояние от оси цилиндра) и излучает тепло в окружающую среду с температурой $U_0 > U_c$, где U_c – температура окружающей среды. Температура распределена в радиальном направлении в виде функции $f(r)$. В начальный момент времени (после отключения установки АВТП) поверхность изделия охлаждается до температуры окружающей среды U_c , которая поддерживается постоянной на протяжении всего процесса охлаждения. Необходимо найти распределение температуры внутри цилиндра в любой момент времени.

С математической точки зрения задача приводится к интегрированию уравнения теплопроводности

$$c\rho \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 U(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial r} \right), 0 < r < R_0, \tau > 0, \quad (1)$$

где c, ρ, λ – теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности вещества, при начальном условии

$$U(r, 0) = f(r) \quad (2)$$

и граничном условии

$$-\lambda \cdot \frac{\partial U(R_0, \tau)}{\partial r} = a \cdot U(R_0, \tau) \quad (3)$$

(где $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ – коэффициент теплоотдачи в окружающую среду).

Применяя метод Фурье $U(r, \tau) = R(r) \cdot T(\tau)$ получим уравнения для определения множителей

$$bT' + \nu^2 T = 0, \quad \frac{1}{r} \cdot \frac{d(rR')}{dr} + \nu^2 R = 0, \quad \text{где } b = \frac{c\rho}{\lambda}.$$

Откуда следует:

$$T(\tau) = Ce^{-\frac{\nu^2}{b}\tau}, \quad R(r) = AJ_0(\nu r) + BY_0(\nu r),$$

где $J_0(\nu r)$ и $Y_0(\nu r)$ – функция Бесселя 1 – го и 2 – го рода.

Так как при $r \rightarrow 0$ $J_0(\nu r) \rightarrow 1$, $Y_0(\nu r) \rightarrow \infty$, то для ограничения решения на оси цилиндра необходимо принять $B = 0$, после чего из условия (3) вытекает, что параметр ν должен быть выбран таким образом, чтобы удовлетворялось уравнение

$$h J_0(\nu R_0) - \nu J_1(\nu R_0) = 0, \text{ где } h = \frac{a}{\lambda}.$$

Если принять $\nu R_0 = x$, то последнее уравнение приводится к виду

$$hR_0 J_0(x) - x J_1(x) = 0. \quad (4)$$

Откуда следует, что оно имеет только вещественные корни, расположенные симметрично относительно начала координат.

Обозначая положительные корни уравнения (4) через x_n ($0 < x_1 < x_2 < \dots$), получаем, что допустимые значения параметра ν будут $\nu_n = \frac{x_n}{R_0}$. Следовательно, совокупность частных решений уравнения (1), пригодных для рассмотрения данной задачи, имеет вид

$$U_n(r, \tau) = M_n \cdot e^{-\frac{x_n^2}{R_0^2 b} \tau} \cdot J_0\left(x_n \frac{r}{R_0}\right), \quad n = 1, 2, \dots \quad (5)$$

Суммируя частные решения, находим общее решение

$$U(r, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} M_n \cdot e^{-\frac{x_n^2}{R_0^2 b} \tau} \cdot J_0\left(x_n \frac{r}{R_0}\right), \quad (6)$$

где коэффициенты M_n выбираются исходя из начального условия (2), чтобы удовлетворялось равенство

$$f(r) = \sum_{n=1}^{\infty} M_n \cdot J_0\left(x_n \frac{r}{R_0}\right) \quad (0 \leq r < R_0). \quad (7)$$

Эта задача равносильно задаче разложения функции $f(r)$ в ряд Дини, где коэффициенты M_n определяются по формуле [1].

$$M_n = \frac{2}{R_0^2 [J_0^2(x_n) + J_1^2(x_n)]} \cdot \int_0^{R_0} r f(r) J_0\left(x_n \frac{r}{R_0}\right) dr \quad (8)$$

Окончательно получим решение поставленной задачи в виде

$$U(r, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{R_0^2 [J_0^2(x_n) + J_1^2(x_n)]} \cdot \int_0^{R_0} r f(r) J_0\left(x_n \frac{r}{R_0}\right) dr \cdot e^{-\frac{x_n^2}{R_0^2 b} \tau} \cdot J_0\left(x_n \frac{r}{R_0}\right), \quad (9)$$

Вернемся к варианту

$$f(r) = \sum_{n=1}^{\infty} M_n J_0(v_n r) \quad (10)$$

Умножим обе части уравнения (10) на $r \cdot J_0(v_n r)$ интегрируем в пределах от 0 до R_0 :

$$\begin{aligned} \int_0^{R_0} r f(r) J_0(v_m r) dr &= \int_0^{R_0} \sum_{n=1}^{\infty} M_n r J_0(v_m r) \cdot J_0(v_n r) dr = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} M_n \int_0^{R_0} r J_0(v_m r) \cdot J_0(v_n r) dr. \end{aligned}$$

Учитывая, что функции Бесселя ортогональны, то получаем

$$\int_0^{R_0} r J_0(v_n r) \cdot J_0(v_m r) dr = \int_0^{R_0} r J_0^2(v_n r) dr = \frac{R_0^2}{2} J_1^2(v_n R_0).$$

Таким образом,

$$M_n = \frac{\frac{2}{R_0^2} \int_0^{R_0} r f(r) \cdot J_0(v_n r) dr}{J_1^2(v_n R_0)}. \quad (11)$$

Окончательное решение задачи получим в ином виде:

$$U(r, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(v_n r)}{J_1^2(v_n R_0)} \cdot \frac{2e^{-v_n^0 R_0 \tau}}{R_0^2} \int_0^{R_0} r f(r) \cdot J_0(v_n r) dr. \quad (12)$$

Если учесть, что температура в изделии цилиндрической формы, после отключения АВТП постоянна и равна температуре полимеризации, т.е. $f(r) = T_0 = const$, то вычисляя интеграл

$$\frac{2}{R_0^2} \int_0^{R_0} T_0 r \cdot J_0(v_n r) dr = \frac{2 T_0}{v_n R_0} J_1(R_0 v_n), \quad (13)$$

получим для случая $T_0 = const \neq 0$

$$U(r, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 J_0(v_n r) \cdot e^{-v_n^0 R_0 \tau}}{R_0 v_n J_1(R_0 v_n)} = \frac{2}{R_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(v_n r)}{v_n J_1(R_0 v_n)} \cdot e^{-v_n^0 R_0 \tau}.$$

Список литературы

1. Лебедев Н.Н. Специальные функции и их приложения / Н.Н. Лебедев. – М.: Лань, 2010. – 136с.

05.23.08

А.В. Алексанин к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
кафедра «Технологии, организации и управления в строительстве», aleks08007@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПО УПРАВЛЕНИЮ ПОТОКАМИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Создание логистических центров является многогранным процессом, требующим профессионального и ответственного отношения. В данной статье рассматриваются основные этапы создания логистических центров по управлению потоками отходов строительного производства комплексного и информационного типов, а также их ключевые особенности.

Ключевые слова: *логистический центр, строительство, переработка отходов, управление, логистика.*

Принятие решения о строительстве логистического центра для координации движения отходов строительства и сноса очень сложный и многогранный процесс, требующий ответственного подхода и детальной проработки. Участниками создания логистического центра должны быть не только частные лица, финансирующие строительство, но и органы федеральной и региональной власти, способные оказать поддержку строительству на государственном уровне.

Ввод в эксплуатацию логистического центра – это целый проект (от лат. project – брошенный вперед), то есть временное предприятие, имеющее целью создание уникального продукта, услуги или достижение конкретного результата. Эффективное управление таким проектом позволяет повышать общую производительность труда, согласовывать и координировать между собой работу всех участников проекта, реализовывать проект в срок и в рамках установленного бюджета [1].

Перед началом реализации проекта необходимо определиться с типом предполагаемого логистического центра: будет ли это комплексный логистический центр (КЛЦ), включающий в себя предприятия по переработке строительных отходов и получению вторичного сырья, или же это будет информационный логистический центр (ИЛЦ), основной функцией которого будет диспетчеризация движения отходов строительного производства в регионе [2,3,4].

Решение по типу логистического центра принимается на основании анализа существующей региональной инфраструктуры по обращению с отходами строительства и сноса. При наличии в регионе достаточного количества оптимально расположенных и эффективно функционирующих отходоперерабатывающих предприятий, не имеет смысла вкладывать значительные финансовые ресурсы в создание новых мощностей по переработке отходов в рамках комплексного логистического центра. В этом случае наиболее рациональной считается организация информационного логистического центра.

После принятия решения о типе логистического центра необходимо разработать алгоритм управления проектом его создания [5]. Инициаторы создания логистического центра в первую очередь должны решить следующие задачи:

- сформировать цели, которые будут способствовать достижению результатов проекта;
- цели проекта могут быть реализованы несколькими способами, для сравнения этих способов необходимо определить критерии успешности достижения целей. Основными критериями оценки различных вариантов исполнения проекта являются сроки и стоимость, при этом запланированные цели и качество обычно служат основными ограничениями при рассмотрении и оценке различных вариантов.

- определить экономическую эффективность капитальных вложений;
- сформировать план обеспечения проекта рабочей силой и материально-техническими ресурсами;
- проанализировать риски, чтобы снизить вероятность и степень их негативного влияния на ход реализации проекта.

При выборе варианта создания комплексного логистического центра с отходоперерабатывающими производствами, площадками для временного складирования отходов и вторичных строительных ресурсов, необходимо грамотно подобрать территорию для размещения такой грандиозной стройплощадки, проанализировать возможность ее привязки к местной инфраструктуре. Транспортная доступность комплексного логистического центра является одним из самых важных условий его эффективной работы.

На этой стадии проекта, когда разрабатывается его концепция, необходимо определиться с объемами финансирования, бюджетом проекта, который должен включать в себя расходы не только на непосредственно сам строительный процесс, но и на развитие транспортной инфраструктуры, на закупку дорогостоящего оборудования по переработке отходов строительства и сноса. Проект должен быть экономически эффективным в расчете на весь срок эксплуатации объекта. Необходимо проанализировать несколько вариантов бизнес-плана проекта и утвердить самый лучший из них - оптимальный с точки зрения строительного и эксплуатационного процессов, а также сроков общей окупаемости [6].

После решения этих задач первую стадию проекта создания логистического центра можно считать завершенной, так как проведено общее технико-экономическое обоснование строительства, и можно переходить к следующей стадии – инженерным изысканиям.

Получив отчет о проведенных изысканиях, инициаторы строительства логистического центра должны его тщательно проанализировать. Анализ заключается в оценке основных объемов работ, технологии производства строительно-монтажных работ, существующих транспортных условий и других факторов, влияющих на стоимость проекта строительства.

Важным моментом на стадии проведения изысканий является согласование площадки строительства логистического центра с местными властями, собственниками территории, организациями экологического надзора и общественностью. Необходимо проанализировать возможность подключения объекта к инженерным коммуникациям (водоснабжению, канализации, электроэнергии и т.п.), учитывая высокую потребность установок по дроблению строительных отходов в электроэнергию.

На основании изыскательских работ принимается решение о проектировании. Комплексный логистический центр является нестандартным объектом, для реализации которого требуются определенные знания и квалификация проектировщиков. Успешный выбор подрядной проектной организации является залогом качественного и технологически грамотного проекта.

Проектная организация должна выбрать и представить на согласование инициаторам проекта наиболее оптимальные проектные строительные и технологические решения на основе перебора альтернативных вариантов по стоимостному критерию и эффективности функционирования объекта на протяжении всего своего жизненного цикла.

Логистический центр является сложным инженерным объектом, для успешной реализации которого необходимо, прежде всего, установить метод выполнения работ, составить детальный график действий, а также подсчитать стоимость ресурсов для осуществления работ выбранным методом.

Следующей за стадией проектирования наступает стадия определения генерального подрядчика на выполнение строительно-монтажных работ и поставщиков технологического оборудования (тендер). Так как логистический центр является объектом регионального значения, то и генеральный подрядчик должен являться крупной компанией регионального уровня. По итогам тендера с выигравшей его подрядной организацией заключается контракт на строительно-монтажные работы. По ходу подготовки контракта окончательно согласовывается стоимость строительства и уровень непредвиденных расходов, схема

финансирования, сроки строительства по отдельным этапам и по всему строительству в целом. При подписании контрактов с поставщиками технологического оборудования необходимо четко представлять сроки начала его возможного монтажа, то есть к началу установки оборудования должен быть обеспечен определенный уровень строительной готовности объекта.

Строительство логистического центра необходимо осуществлять в четкой технологической последовательности согласно календарному плану-графику. На этой стадии большое значение имеют вопросы планирования, производства, изготовления и доставки на строительную площадку материалов, строительных конструкций и оборудования.

Стадиями инженерных изысканий, проектирования, проведения тендера, подготовительных и строительно-монтажных работ необходимо так же эффективно управлять, как и стадией технико-экономического обоснования проекта строительства комплексного логистического центра.

При принятии решения о строительстве комплексного логистического центра следует также определить потребность в трудовых ресурсах, составить перечень профессий, которым должны соответствовать потенциальные соискатели. Реализация столь крупного проекта создаст дополнительные рабочие места в регионах, тем самым способствуя повышению региональных социально-экономических показателей.

Большинство проектов имеют определенную дату окончания, бюджет, и объем работ. Это трио времени, денег и объема часто называют проектным треугольником, потому что при внесении изменений в один из этих элементов меняются оба других. И хотя для проекта в равной степени важны все три элемента, как правило, только один из них в зависимости от приоритетов имеет наибольшее влияние на другие [5]. При реализации проекта логистического центра необходимо вовремя выявить такой элемент и уделить ему повышенное внимание.

Список литературы

1. *Алексанин А.В., Сборщиков С.Б.* Создание регионального механизма централизованного управления строительными отходами // Вестник МГСУ. 2013. №6. С. 229–235
2. *Алексанин А.В., Сборщиков С.Б.* Управление строительными отходами на основе создания специализированных логистических центров // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №2. С. 67–69.
3. *Алексанин А.В., Сборщиков С.Б.* Создание регионального механизма централизованного управления строительными отходами // Вестник МГСУ. 2013. №6. С. 229–235.
4. *Алексанин А.В.* Концепция управления потоками строительных отходов на базе комплексных и информационных логистических центров // Научное обозрение. 2013. №7. С.132-136
5. *Ильин В.В.* По ту сторону проектов. Записки консультанта [Текст]. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 376 с.
6. *Лоренс Дж. Гитман, Майкл Д. Джонк.* Основы инвестирования [Текст]. – М. : Дело, 1999. – 1008 с.

05.13.18

А.С. Андреев, Е.А. Кудашова, С.Ю. Раков

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

СИНТЕЗ НЕПРЕРЫВНОГО И КУСОЧНО-ПОСТОЯННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

В работе предложены непрерывный и кусочно-постоянный законы управления для задач стабилизации программного движения и отслеживания заданной траектории мобильного колесного робота с тремя омни-колесами. Рассмотрена динамическая модель робота с учетом неизвестных массо-инерционных параметров. Представлены результаты численного моделирования.

Ключевые слова: мобильный колесный робот, роликонесущее колесо, кусочно-постоянное управление, стабилизация, слежение.

Многочисленные исследования в области механики и теории управления посвящены проблеме синтеза управления колесными механическими системами, что связано с развитием робототехники, созданием различных типов колесных мобильных роботов, промышленных манипуляторов на колесной платформе.

Решение задачи синтеза управления мобильным роботом на роликонесущих колесах представлено во многих работах. В работах [1,2] рассмотрены вопросы оптимального планирования траектории и предложены стратегии управления движением центра масс без управления ориентацией робота. В работе [3] на основе упрощенной линейной модели построены ПИД-регуляторы для управления движением центра масс и ориентацией платформы робота. В работе [4] на основе нелинейной модели и применения метода линеаризации обратной связью построены ПИ и ПД регуляторы для управления скоростью центра масс платформы omni-робота и углом ее поворота. В работе [5] построены нелинейные динамические модели робота с учетом динамики приводов и разработаны интегральные управления на основе метода линеаризации системы вдоль заданной траектории.

При практической реализации законов управления возникают определенные трудности, связанные с тем, что реальные устройства не могут обеспечить строгое выполнение данных законов. Это обусловлено различными факторами: погрешностью измерений, запаздыванием по времени устройств управления, воздействием неучтенных факторов. Задача синтеза управления значительно усложняется, если параметры динамической модели неизвестны. Например, могут быть неизвестны массово-инерционные характеристики перемещаемого груза.

Целью настоящей статьи является построение непрерывного и кусочно-постоянного законов управления движением колесного робота с тремя роликонесущими колесами, позволяющих стабилизировать программное движение и отслеживать заданную траекторию робота и учитывать такие особенности функционирования, как неточное измерение массо-инерционных характеристик, дискретность сигналов в цепи управления.

1. Математическая модель робота. Уравнения управляемого движения по горизонтальной плоскости мобильного робота с тремя омни-колесами под действием моментов, развиваемых электродвигателями постоянного тока, имеют вид

$$\begin{cases} (m + \Delta m)\ddot{\xi} + h\dot{\xi} + m_d\dot{\psi}\dot{\eta} = \sin\psi u_1 + \sin(\psi + \frac{2\pi}{3})u_2 + \sin(\psi + \frac{4\pi}{3})u_3 \\ (m + \Delta m)\ddot{\eta} + h\dot{\eta} - m_d\dot{\psi}\dot{\xi} = -\cos\psi u_1 - \cos(\psi + \frac{2\pi}{3})u_2 - \cos(\psi + \frac{4\pi}{3})u_3 \\ (I + \Delta I)\ddot{\psi} + 2a^2h\dot{\psi} = -a(u_1 + u_2 + u_3) \end{cases} \quad (1.1)$$

где ξ и η – координаты центра платформы робота в неподвижной декартовой системе координат $O\xi\eta\zeta$; ψ – угол поворота платформы вокруг вертикали, отсчитываемый от оси ξ ; u_1 , u_2 и u_3 – управляющие напряжения, подаваемые на электродвигатели; a – расстояние от центра платформы до центра каждого колеса; постоянная $h > 0$ определяется коэффициентом момента противоэлектродвижущей силы c_v и радиусом колеса r , $h = 3c_v / (2r^2)$; m , I и m_d – составляющие массо-инерционных параметров системы, определяемые в виде:

$$m = m_0 + 3m_1 \left(1 + \frac{r_1^2}{3r^2} \right), \quad m_d = 3m_1 \frac{r_1^2}{2r^2}, \quad I = m_0\rho_0^2 + 3m_1 \left(\rho_1^2 + a^2 \left(1 + \frac{r_1^2}{2r^2} \right) \right)$$

где r_1 – радиус инерции колеса относительно его оси вращения; m_0 – масса платформы, m_1 – масса колеса, ρ_0, ρ_1 – соответственно радиусы инерции платформы и колеса относительно вертикальной оси, проходящей через их центры масс; Δm и ΔI – неизвестные составляющие массы платформы и ее момента инерции соответственно, удовлетворяющие ограничениям: $|\Delta m| < \Delta m_0 = \text{const}$, $|\Delta I| < \Delta I_0 = \text{const}$, причем будем предполагать, что: $\Delta m_0 < m$, $\Delta I_0 < I$.

2. Решение задач стабилизации и слежения. Для решения задачи стабилизации программного движения

$$\xi = \xi_0(t), \quad \eta = \eta_0(t), \quad \psi = \psi_0(t) \quad (2.1)$$

системы (1.1) найден непрерывный закон управления в виде:

$$\begin{aligned} u_1(t) = & \frac{2}{3}[(m\ddot{\xi}_0(t) + h\dot{\xi}_0(t) + m_d\dot{\psi}_0(t)\dot{\eta}_0(t) - vx_1 - \mu_1 \int_0^t x_1(s)ds) \sin(\psi_0(t) + x_3) - \\ & -(m\ddot{\eta}_0(t) + h\dot{\eta}_0(t) - m_d\dot{\psi}_0(t)\dot{\xi}_0(t) - vx_2 - \mu_1 \int_0^t x_2(s)ds) \cos(\psi_0(t) + x_3) - \\ & -(I\ddot{\psi}_0(t) + 2a^2h\dot{\psi}_0(t) - vx_3 - \mu_2 \int_0^t x_3(s)ds) / (2a)] \\ u_2(t) = & \frac{2}{3}[(m\ddot{\xi}_0(t) + h\dot{\xi}_0(t) + m_d\dot{\psi}_0(t)\dot{\eta}_0(t) - vx_1 - \mu_1 \int_0^t x_1(s)ds) \cos\left(\psi_0(t) + x_3 + \frac{\pi}{6}\right) + \\ & +(m\ddot{\eta}_0(t) + h\dot{\eta}_0(t) - m_d\dot{\psi}_0(t)\dot{\xi}_0(t) - vx_2 - \mu_1 \int_0^t x_2(s)ds) \sin\left(\psi_0(t) + x_3 + \frac{\pi}{6}\right) - \\ & -(I\ddot{\psi}_0(t) + 2a^2h\dot{\psi}_0(t) - vx_3 - \mu_2 \int_0^t x_3(s)ds) / (2a)] \\ u_3(t) = & \frac{2}{3}[(m\ddot{\xi}_0(t) + h\dot{\xi}_0(t) + m_d\dot{\psi}_0(t)\dot{\eta}_0(t) - vx_1 - \mu_1 \int_0^t x_1(s)ds) \sin\left(\psi_0(t) + x_3 + \frac{\pi}{3}\right) + \\ & +(m\ddot{\eta}_0(t) + h\dot{\eta}_0(t) - m_d\dot{\psi}_0(t)\dot{\xi}_0(t) - vx_2 - \mu_1 \int_0^t x_2(s)ds) \cos\left(\psi_0(t) + x_3 + \frac{\pi}{3}\right) - \\ & -(I\ddot{\psi}_0(t) + 2a^2h\dot{\psi}_0(t) - vx_3 - \mu_2 \int_0^t x_3(s)ds) / (2a)] \end{aligned} \quad (2.2)$$

где $\nu > 0$, $\mu_i > 0$ ($i=1, 2$) – некоторые постоянные, отклонения от программного движения: $x_1 = \xi - \xi_0(t)$, $x_2 = \eta - \eta_0(t)$, $x_3 = \psi - \psi_0(t)$.

Для решения задачи отслеживания заданной траектории (2.1) найден кусочно-постоянный закон управления в виде

$$\begin{aligned} u_1(t) &= \frac{2}{3}[-\sigma_1 \operatorname{sign}(\nu x_1(kT) + \mu_1 \dot{x}_1(kT)) \sin(\psi_0(kT) + x_3(kT)) + \\ &+ \sigma_2 \operatorname{sign}(\nu x_2(kT) + \mu_1 \dot{x}_2(kT)) \cos(\psi_0(kT) + x_3(kT)) + \sigma_3 \operatorname{sign}(\nu x_3(kT) + \mu_2 \dot{x}_3(kT)) / (2a)] \\ u_2(t) &= \frac{2}{3}[-\sigma_1 \operatorname{sign}(\nu x_1(kT) + \mu_1 \dot{x}_1(kT)) \cos\left(\psi_0(kT) + x_3(kT) + \frac{\pi}{6}\right) - \\ &- \sigma_2 \operatorname{sign}(\nu x_2(kT) + \mu_1 \dot{x}_2(kT)) \sin\left(\psi_0(kT) + x_3(kT) + \frac{\pi}{6}\right) + \sigma_3 \operatorname{sign}(\nu x_3(kT) + \mu_2 \dot{x}_3(kT)) / (2a)] \\ u_3(t) &= \frac{2}{3}[-\sigma_1 \operatorname{sign}(\nu x_1(kT) + \mu_1 \dot{x}_1(kT)) \sin\left(\psi_0(kT) + x_3(kT) + \frac{\pi}{3}\right) - \\ &- \sigma_2 \operatorname{sign}(\nu x_2(kT) + \mu_1 \dot{x}_2(kT)) \cos\left(\psi_0(kT) + x_3(kT) + \frac{\pi}{3}\right) + \sigma_3 \operatorname{sign}(\nu x_3(kT) + \mu_2 \dot{x}_3(kT)) / (2a)] \end{aligned} \quad (2.3)$$

где $\nu > 1$, $\mu_i > 0$ ($i=1, 2$), $\sigma_j > 0$ ($j=1, 2, 3$) – некоторые постоянные.

3. Численное моделирование. Для обоснования законов (2.2) и (2.3) были проведены расчеты в IDE Borland Delphi 8.0 при следующих значениях параметров:

$$m = 20 \text{ кг}, m_d = 3 \text{ кг}, I = 3.76 \text{ кг} \times \text{м}^2, a = 0.2 \text{ м}, h = 1.6 \text{ Н} \times \text{с} / \text{м}$$

Параметры программного движения выбраны в виде:

$$\xi_0(t) = 0.2t \text{ м}, \quad \eta_0(t) = \sin(0.2t) \text{ м}, \quad \psi_0(t) = 0.5t \text{ рад}$$

Параметры отслеживаемой траектории равны

$$\xi_0(t) = R \cos \omega t, \quad \eta_0(t) = R \sin \omega t, \quad \psi_0(t) = \omega t$$

Найдены следующие параметры управления (2.2):

$$\mu_1 = -2, \mu_2 = -2, \mu_3 = -2, \nu = 3, \alpha = 2$$

На рисунке 1 показаны: графики отклонений движения робота от программного при управлении (2.2) (слева) и траектория движения робота при управлении (2.3) (справа).

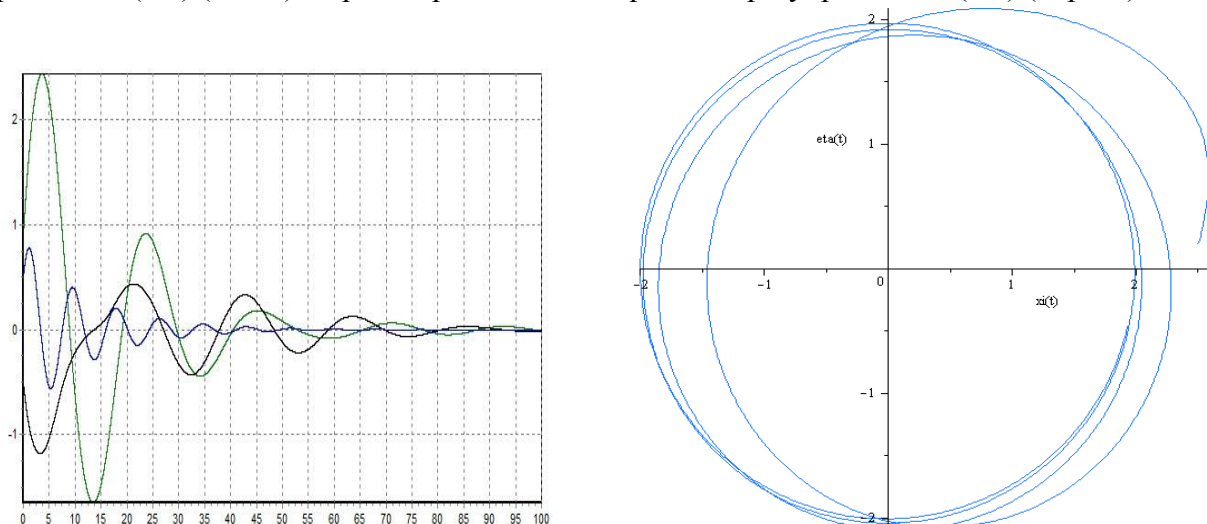


Рис. 1– Результаты численного моделирования

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части (код проекта 2097) и РФФИ (12-01-33082).

Список литературы

1. Nagy T.K., D'Andrea R., Ganguly P. Near-optimal dynamic trajectory generation and control of an omnidirectional vehicle // *Robotics and Autonomous Systems*. – 2004. – V. 47(1). – P. 47–64.
2. Nagy T.K., Ganguly P., D'Andrea R. Real-time trajectory generation for omni-directional vehicle // *Proceedings of the American Control Conference*. – 2002. – P. 286–291.
3. Samani H.A., Abdollahi A., Ostadi H., Rad S.Z. Design and development of a comprehensive omni directional soccer player robot // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2004. – V. 1(3). – P. 191–200.
4. Watanabe K., Shiraishi Y., Tzafestas S.G. et al. Feedback control of an omnidirectional autonomous platform for mobile service robots // *J. Intelligent and Robotic Systems*. – 1998. – V. 22. – P. 315–330.
5. Liu Y., Zhu J.J., Williams II R.L., Wu J. Omni-directional mobile robot controller based on trajectory linearization // *Robotics and autonomous systems*. – 2008. – V. 56. – P. 461–479.

05.13.10

Р.Г. Асадуллаев, В.В. Ломакин

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
институт управления, кафедра информационного менеджмента,
Белгород, asadullaev@bsu.edu.ru, lomakin@bsu.edu.ru

ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЕМ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ

В представленной статье авторы освещают проблему построения процесса адаптивного управления обучением персонала предприятий. Выявлены особенности обучения сотрудников промышленных предприятий, заключающиеся в специфике профессиональной деятельности, а также в разнородном составе контингента обучаемых. Построены функциональные схемы процессов управления профессиональным обучением и формирования образовательной программы профессионального обучения. Обоснован состав элементов, входящих в устройство управления профессиональным обучением, которые рациональным образом управляют индивидуальной образовательной траекторией посредством формирования индивидуального учебного контента.

Ключевые слова: личностно-ориентированное обучение; адаптивное программное обеспечение; индивидуальная траектория обучения; адаптивный алгоритм формирования учебного курса.

Трансформация среды обитания человека привела к повсеместному использованию информационных технологий, которые заняли ведущее место в современной техногенной сфере человека и обусловили переход общества в информационную форму. Развитие информационных технологий позволило обеспечить обучение человека в форме общения непосредственно с ЭВМ. Данный процесс подразумевает применение автоматизированных систем управления обучением, представителями которых являются системы электронного обучения (СЭО). Предпосылками создания СЭО стало развитие компьютерной техники и экспертных систем, с одной стороны, и общественная потребность массового получения образования, с другой [1, 2, 3].

В качестве отличительных особенностей процесса управления повышением квалификации персонала предприятий можно отметить [4]: узкая специализация знаний, практическая ориентированность процесса повышения квалификации, сжатые сроки процесса повышения квалификации, профессиональные и возрастные различия групп слушателей и другие характеристики, присущие конкретному предприятию в зависимости от сферы деятельности.

Для построения эффективных адаптивных моделей повышения квалификации необходимо рассмотреть процесс управления усвоением знаний на функциональном уровне (рис. 1).

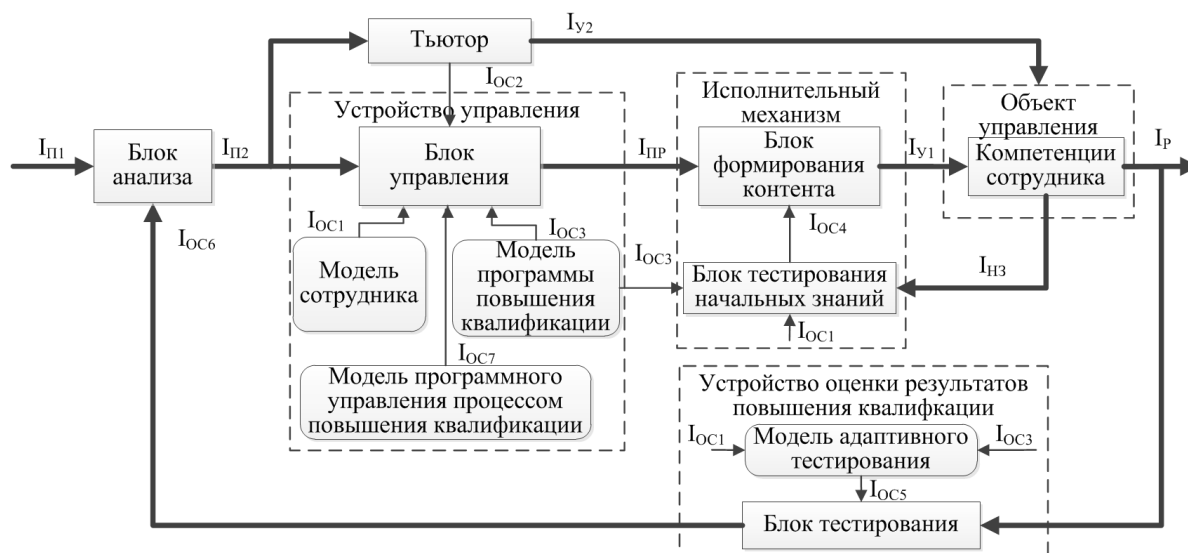


Рис.1 – Функциональная схема процесса управления повышением квалификации кадров предприятия

Так как управление производится не самим сотрудником, а его компетенциями, то в качестве объекта управления (ОУ) выступают компетенции сотрудника. Устройство управления (УУ) состоит из функциональных блоков способных в совокупности управлять индивидуальной образовательной траекторией сотрудника. УУ формирует управляющее воздействие на исполнительный механизм (ИМ), который на основании результатов тестирования начальных знаний и управляющего воздействия формирует учебный контент, предназначенный сотруднику для изучения. Параллельно с каналом управления УУ проходит канал управления, в котором управляющие воздействия формирует тьютор.

Для обозначения протекающих информационных потоков, на функциональной схеме (рис. 1) введены следующие обозначения информационных сигналов: $I_{п1}$ – цель программы повышения квалификации; $I_{п2}$ – ошибка рассогласования (отклонение результатов сотрудника от цели программы повышения квалификации); $I_{пр}$ – информация принятия решения (формируется на выходе УУ); $I_{у1}$ – управляющая информация (формируется ИМ и представляет собой порцию учебного материала); $I_{р}$ – результат усвоения ЭБЗ; $I_{нз}$ – начальные знания сотрудника по ЭБЗ; $I_{у2}$ – управляющая информация, формируемая тьютором; $I_{ос1}$ – сведения, полученные от модели сотрудника; $I_{ос2}$ – сведения об ОУ, формируемые тьютором; $I_{ос3}$ – осведомляющая информация (сведения о параметрах модели программы повышения квалификации); $I_{ос4}$ – осведомляющая информация (сведения о результатах тестирования начальных знаний сотрудника); $I_{ос5}$ – осведомляющая информация (сведения, полученные от модели адаптивного тестирования); $I_{ос6}$ – осведомляющая информация (результаты тестирования сотрудника по усвоенной порции учебного материала); $I_{ос7}$ – осведомляющая информация (сведения, полученные от модели программного управления процессом повышения квалификации).

Обратная связь обеспечивается устройством оценки результатов повышения квалификации, которое оценивает степень овладения ОУ сформированного контента. На основании $I_{ос1}$ и $I_{ос3}$ модель адаптивного тестирования формирует $I_{ос5}$, затем производится контроль $I_{р}$ и формируется $I_{ос6}$, представляющая собой сведения о степени овладения ОУ сформированного для него контента.

Блок анализа на основании $I_{п1}$ и $I_{ос6}$ выявляет отклонение результатов повышения квалификации сотрудника от требуемого уровня, сформированного программой повышения квалификации. Полученная ошибка рассогласования $I_{п2}$ подается в УУ, которое начинает новую итерацию формирования контента с учетом полученных результатов.

Для организации процесса формирования программы повышения квалификации необходимо построить функциональную схему (рис. 2), отражающую информационное взаимодействие между участниками, принимающими участие в данном процессе.

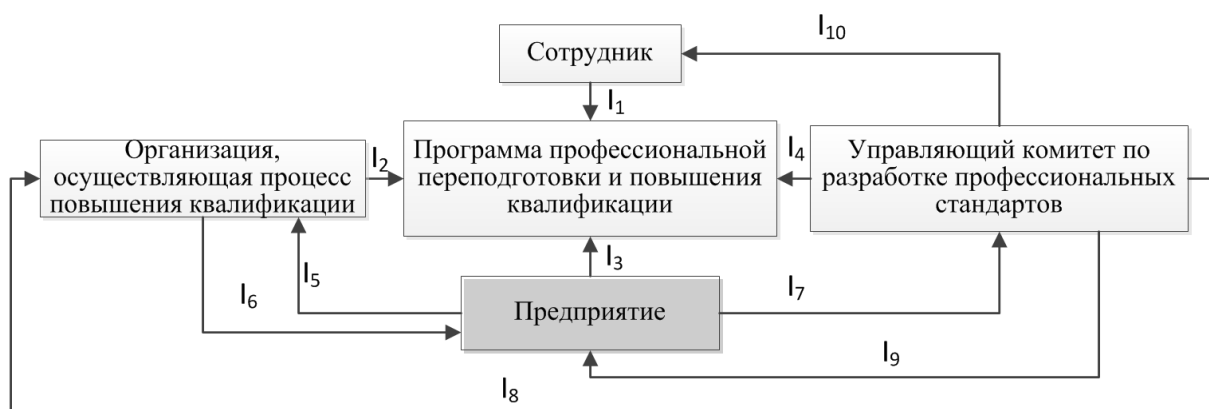


Рис.2 – Функциональная схема процесса формирования программы профессиональной переподготовки и повышения квалификации

Для описания каждого канала связи введены следующие обозначения: I_1 – информация об индивидуальных параметрах сотрудника; I_2 – информация от организации, на базе которой проводятся курсы повышения квалификации; I_3 – информация о требованиях работодателя; I_4 – сведения из профессиональных стандартов; I_5 – информация о требованиях к профессиональным качествам сотрудника с учетом специфики деятельности предприятия; I_6 – сведения о программах повышения квалификации в соответствии с требованиями работодателей; I_7 – информация о требованиях к профессии; I_8 – информация для создания качественных и актуальных программ повышения квалификации; I_9 – информация для подбора и расстановки кадров, планирования и нормирования труда, профессиональной ориентации, системы сертификации персонала и оценки уровня компетентности работников; I_{10} – информация для управления собственной карьерой.

Таким образом, определены задачи оптимального управления процессом повышения квалификации и разработана функциональная схема процесса управления повышением квалификации, описывающая работу адаптивной системы электронного обучения, в контуре управления которой задействован тьютор. Выделены основные функциональные блоки, реализация которых позволит эффективным образом организовать автоматизированный процесс управления усвоением знаний персонала предприятий на основе построения индивидуальных образовательных траекторий. Выявлены особенности составления программы профессиональной переподготовки и повышения квалификации, а также определены элементы, принимающие участие в данном процессе.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект №14-38-00047«Прогнозирование и управление социальными рисками развития техногенных человекомерных систем в динамике процессов трансформации среды обитания человека» при участии НИУ «БелГУ», ИСПИ РАН, ЮЗГУ.

Список литературы

1. Беспалько, В.П. Природосообразная педагогика [Текст] / В.П. Беспалько. - Москва: Народное образование, 2008. – С. 74-112
2. Насибуллин, Э.Н. Корпоративное обучение как фактор повышения интеллектуального потенциала персонала организации [Электронный ресурс] / Насибуллин Э.Н. // Электронное научное издание «Образовательные технологии и общество». – 2010. – Том 12. – №2. – Р. 250-261. – Режим доступа: http://ifets.ieee.org/russian/depositary/v13_i2/html/3.htm, свободный.
3. Брусенцов, Н.П., Маслов, С.П., Рамиль Альварес Х. Микрокомпьютерная система обучения «Наставник». – М.: Наука. Гл. ред физ. – мат. Лит., 1990. – С. 31-54
4. Особенности обучения взрослых [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. - HRM, 2000-2011. - Режим доступа: <http://hrm.ru/osobennosti-obucheniya-vzroslykh>, свободный.

05.23.04

¹В.И. Баженов д.т.н., ²Е.А. Королева к.т.н.

¹Московский государственный строительный университет
(национальный исследовательский университет), кафедра водоотведения и водной экологии,
Москва, bazhenov@pump.ru

²Московский Геолого-Разведочный Институт – Российский Геолого-Разведочный
Университет, кафедра «Строительство систем и сооружений ВиВ»,
Москва, office@msgpa.edu.ru

ВАРИАНТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УДАЛЕНИЮ ЗАПАХА СТОЧНЫХ ВОД

В практическом аспекте рассмотрен синергизм этапов предотвращения выбросов в атмосферу опасных и дурнопахнущих летучих соединений, которые образуются в системах канализации и при очистке сточных вод: сбор загрязненного воздуха и способов его очистки. Предлагается к внедрению система подачи очищаемого воздуха в аэротенки на базе устройств пневматической мелкопузырчатой аэрации, позволяющая достигать эффективности удаления запахов: $H_2S = 92-99\%$, $NH_3 > 90\%$, $D/T > 99,5\%$.

Ключевые слова: контроль запаха, очистные сооружения канализации, поглощение запахов активным илом.

Для условий РФ проблема предотвращения выбросов в атмосферу опасных и дурнопахнущих летучих соединений систем водотведения, достаточно нова. Практикой охраны окружающей природной среды используются методы, включающие этапы: сбор загрязненного воздуха и его очистку.

Предотвращение выбросов в атмосферу и сбор газов осуществляются путем перекрытия поверхностей сооружений и устройства принудительной системы вентиляции. Загрязненный воздух направляется на очистку с кратностью воздухообмена в 1 ч источников запаха для условий РФ 3 – 5 ед., для сравнения в США 12 – 25 ед.

Для ориентировочной оценки выбросов от очистных сооружений удельной производительностью 100 000 м³/сутки проанализируем данные [1] для схем состава сооружений аналогичного Курьяновским ОС (3,125 млн. м³/сут), табл. 1.

Таблица 1 – Данные выбросов дурнопахнущих веществ из условия удельной
производительности очистных сооружений 100 000 м³/сутки.

Параметр	Величина
Общая площадь поверхности технологических сооружений, тыс. м ²	10,3
Площадь перекрываемой поверхности (сооружения механической очистки и уплотнители сброженного осадка), тыс. м ²	2,24
Доля перекрываемой поверхности от общей открытой поверхности очистных сооружений, %	22
Общий расход очищаемого воздуха, м ³ /с (тыс. м ³ /ч)	3,84 (13,92)

В перечень летучих соединений очистных сооружений входят: серосодержащие и азотсодержащие (включая органические), органические кислоты, альдегиды, кетоны, и др.

Утвержденные методические документы [2, 3] содержат сведения с приведением концентраций загрязняющих веществ над поверхностью сточных вод, определенные на основе статистического анализа, табл. 2. Представлены усреднённые показатели загрязняющих веществ для очистных сооружений различных климатических зон [3, 4].

Таблица 2 – Усредненные концентрации загрязняющих веществ над поверхностями испарения типовых производственных сооружений станций аэрации хозяйственно-бытовых сточных вод, мг/м³

Сооружение	Аммиак	Азот оксид	Диоксид	Меркаптаны *	Метан	Сероводород	Углеводороды C ₆ -C ₁₀ **	Фенол	Формальдегид
Приемная камера	0,25	0,070	0,041	0,0018	35,2	0,49	1,57	0,026	0,036
Решетки	0,24	0,059	0,029	0,062	7,54	0,12	1,78	0,026	0,021
Песколовки	0,23	0,073	0,018	0,0014	2,95	0,033	1,47	0,017	0,029
Первичный отстойник	0,167	0,073	0,0068	0,0011	5,58	0,044	1,24	0,0214	0,028
Аэротенк	0,095	0,070	0,0040	0,0013	2,57	0,032	0,785	0,0252	0,026
Вторичный отстойник	0,149	0,0711	0,022	0,0013	2,00	0,033	0,82	0,0254	0,037
Иловый резервуар	0,135	0,105	0,022	0,0015	1,8	0,038	0,70	0,037	0,050
Уплотнитель сырого осадка	0,140	0,10	0,044	0,0027	8,5	0,0988	1,2	0,038	0,043
Уплотнитель сброженного осадка	0,273	0,10	0,022	0,0045	4,6	0,113	3,8	0,10	0,054
Песковая площадка	0,090	0,065	0,011	0,00069	2,7	0,124	0,67	0,02	0,018
Иловая площадка	0,36	0,10	0,0056	0,0013	1,6	0,029	0,5	0,037	0,025

* в пересчете на этилмеркаптан

** указанные загрязняющие вещества нормируются только для сточной воды, с содержанием нефтепродуктов свыше 1,0 мг/дм³.

Европейский стандарт EN 13725 «Качество воздуха – определение концентрации запаха методом динамической ольфактометрии» с показателем D/T (Dilution to Threshold) получил международное признание:

$$D/T = (V_0 + V_a)/V_0,$$

где V_0 – объем пахучего воздуха, V_a – объем свежего воздуха.

Т.о. определяется степень дискомфорта от неприятного запаха. Стандартом определяется требуемая степень разбавления чистым воздухом, при которой пороговая концентрация неприятного запаха становится неопределимой органолептически. Существуют различные методы и технологии удаления запаха сточных вод: биологические, химические, физические, и термические, табл. 3.

Таблица 3 – Эффективность удаления запахов сооружениями очистки.

Сооружения очистки или система	Эффективность удаления запахов
Биофильтры. Традиционный загрузочный материал: кора, древесные опилки, компост, почва, торф и т.д. t = от секунд до минут в зависимости от процесса.	$H_2S > 98\%$, $NH_3 > 80\%$, $D/T > 95\%$, ЛОС=20-90%
Мокрые скрубберы. Загрязненный воздух переносится в водные растворы с образованием: серной кислоты, едкого натра. t = 1-2,5 сек.	$H_2S < 98\%$, $NH_3 > 95\%$, $D/T < 80-99\%$, меркаптаны $> 90\%$,
Адсорбционные фильтры. Замена адсорбента обычно через 3-9 месяцев. t = 2-3 сек.	$H_2S > 90\%$, ЛОС=90-99%
Система подачи воздуха в аэротенки (крупнопузырчатая аэрация). Загрязненный воздух подается через воздуходувки в систему аэрации.	$H_2S < 85-92\%$, $NH_3 > 90\%$, $D/T = 90-95\%$
Система подачи воздуха в аэротенки (мелкопузырчатая аэрация).	$H_2S = 92-99\%$, $NH_3 > 90\%$, $D/T > 99,5\%$
УФ лампы низкого давления. t = 2-3 сек.	$H_2S > 90\%$
Термические окислители. t = 3-4 сек.	$D/T = 98-99,5\%$
Химические оксиданты.	$H_2S > 99\%$, $D/T < 99\%$
Нейтрализующие агенты.	$H_2S \sim 30\%$, $NH_3 \sim 30\%$,

Примечание: ЛОС – летучие органические соединения и степень очистки, D/T – степень очистки по этому показателю, t – время пребывания очищаемого воздуха.

Система подачи очищаемого воздуха в аэротенки является вариантом простого способа очистки воздуха методами адсорбции, абсорбции, конденсации и микробного окисления активным илом с пониженными капитальными и эксплуатационными расходами и приспособленностью к очистке меркаптанов и H_2S . Научный обзор [5] свидетельствует, что не было замечено влияний H_2S на окислительную способность микроорганизмов или их состава, качество очистки или повреждения пневматических систем аэрации.

Специальные инженерные мероприятия включают требования коррозионной стойкости воздухопроизводящих трубопроводов, конструкций воздушных фильтров, рабочих органов воздухонагнетателей. В системе возможны смолистые образования, напоминающие жирную пленку, поэтому решение содержит специальные влаgekонденсатные ловушки.

Предложенная система воздухоподготовки приспособлена для удаления частиц $\geq 0,3$ микрона, рис. 1. Двухступенчатые фильтры рассчитаны на 95%-ную эффективность задержания частиц. Толщины фильтров: предочистки – 2,5 см, дополнительной очистки – 30 см. Расчетная скорость на фильтрах 0,6 – 2,5 м/сек. Решение с мелкопузырчатой аэрацией позволяет достигать эффективности удаления запахов: $H_2S = 92-99\%$, $NH_3 > 90\%$, $D/T > 99,5\%$, а также усредненных концентрации загрязняющих веществ над поверхностью испарения по веществам, мг/м³: аммиак – 0,095, азот оксид – 0,070, диоксид азота – 0,004, меркаптаны – 0,0013, метан – 2,57, сероводород – 0,032, углеводороды C_6-C_{10} – 0,785, фенол – 0,0252, формальдегид – 0,026.

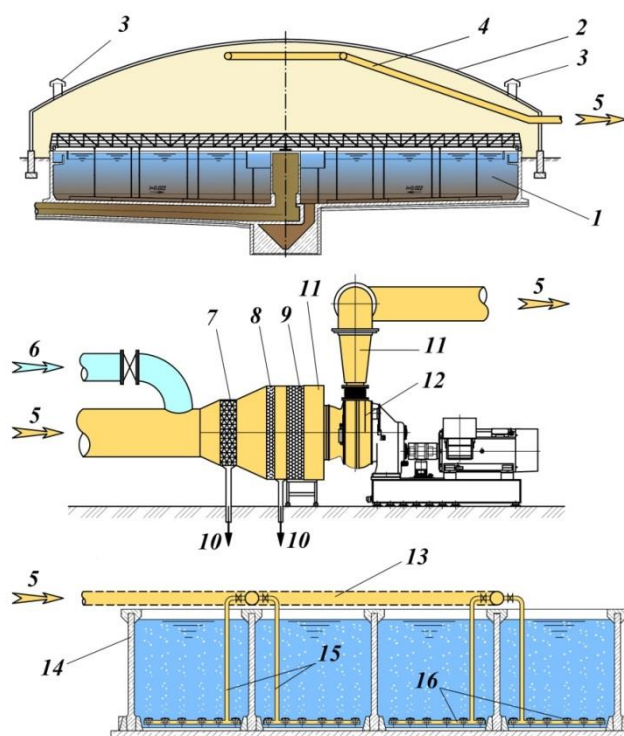


Рис. 1 – Техническое решение системы подачи очищаемого воздуха в аэротенки на базе коррозионностойкого воздуходувного оборудования: **1)** источник эмиссии запахов, **2)** система перекрытия сооружения, **3)** вентиляционный зонт, **4)** система принудительной вентиляции, **5)** направление подачи очищаемого воздуха, **6)** забор чистого воздуха, **7)** влагоконденсатная ловушка, **8)** воздушный фильтр предочистки с расчетной эффективностью 30%, **9)** воздушный фильтр очистки с дополнительной эффективностью 65%, **10)** влагоконденсатный дренаж, **11)** глушители, **12)** воздухонагнетатель Siemens TE, **13)** воздухораспределительная система, **14)** аэротенк, **15)** воздушные стояки, **16)** система аэрации.

Список литературы

1. Храменков С.В., Пахомов А.Н., Данилович Д.А., Дорофеев А.Г., Агевнин А.Г. Методы предотвращения распространения неприятных запахов от сооружений канализации// Журнал «Водоснабжение и санитарная техника» - 2006. -№11, ч.1, –с. 40-47.
2. Методические рекомендации по расчету количества загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферный воздух от неорганизованных источников загрязнения станций аэрации сточных вод./ ОАО «НИИ Атмосфера», С-Петербург 2011.
3. Методические разъяснения к «Методическим рекомендациям по расчёту выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от неорганизованных источников станций аэрации сточных вод», 2013.
4. Методическое пособие по расчёту, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух./ ОАО «НИИ Атмосфера», С-Петербург 2012.
5. Баженов В.И., Королева Е.А. Технологии удаления запаха сточных вод// Сборник докладов Международной конференции «Водоснабжение и водоотведение населенных мест» (4-5 июня 2014 г., Москва, Россия). [электронный ресурс] – М. : ЗАО «Компания ЭКВАТЕК», 2014.

05.23.02

В.Ф. Бай, Т.В. Мальцева, А.Н. Краев

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, строительный институт, кафедра строительных конструкций, Тюмень, kraev-an@mail.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЛАБОГО ГЛИНИСТОГО ОСНОВАНИЯ, УСИЛЕННОГО ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ ПО КОНТУРУ ПОДУШКОЙ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОДОШВОЙ

В статье представлена методика расчёта песчаной армированной по контуру подушки с криволинейной подошвой, устроенной в слабых глинистых грунтах под ленточными фундаментами.

Ключевые слова: *фундамент, слабый глинистый грунт, песчаная подушка, армирующий материал.*

Одним из направлений изучения распределения напряжений в зернистых грунтах является модель дискретных сред. Отличием модели дискретной среды является рассмотрение отдельных элементов её структуры как механически взаимодействующих тел. Элементами структуры являются зерна сыпучего материала.

В результате рассмотрения распределения давления в зернистой среде как вероятностного процесса И.И. Кандауровым [1] в 1959г впервые были введены формулы (1) для средних значений напряжений для плоской задачи деформирования.

$$\sigma_z = -F \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi z}} e^{(-\frac{\alpha}{2z}x^2)}, \quad (1)$$

где F – линейная вертикальная нагрузка (кН/м); α – коэффициент структуры среды (1/м); z – координата по вертикальной оси (м); x – координата по горизонтальной оси (м).

В данной работе предлагается экспериментальная методика определения коэффициента структуры α с учётом криволинейной опорной поверхности песчаной подушки и её контурного армирования геосинтетическим материалом.

Для расчёта напряженно-деформированного состояния песчаной армированной по контуру подушки с криволинейной подошвой мысленно выделяется слой единичной длины в продольном направлении песчаной армированной подушки. В выделенный слой введена декартова система координат XZ с началом в верхней части песчаной армированной подушки по оси симметрии (рисунок 1).

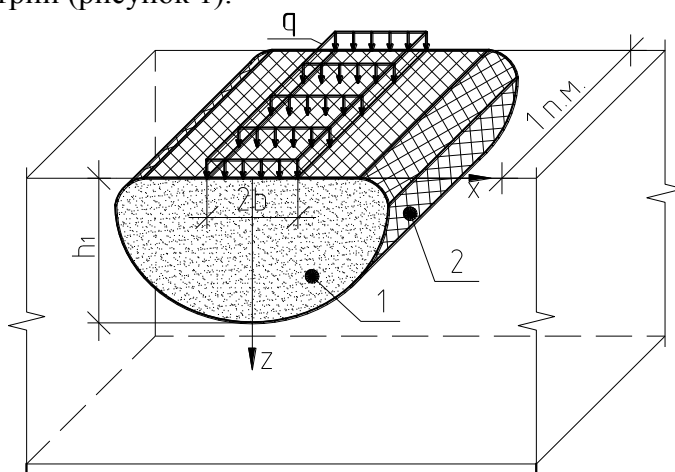


Рис. 1- Элемент единичной длины песчаной армированной подушки с криволинейной подошвой

Данная расчётная схема имеет следующие обозначения: 1 – песчаный массив грунта с криволинейной подошвой; 2 – геосинтетический армирующий материал; $2b$ – ширина действия нагрузки; h_1 – высота песчаной армированной подушки (по оси симметрии); q – равномерно-распределённая нагрузка.

В соответствии с решением (1), представим расчётную схему песчаной армированной по контуру подушки с криволинейной подошвой при действии линейной вертикальной нагрузки (рисунок 2).

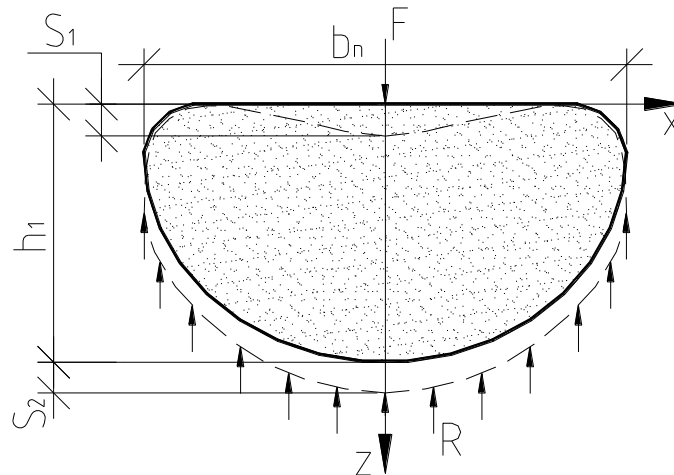


Рис. 2- Расчётная схема песчаной армированной по контуру подушки с криволинейной подошвой

Данная расчётная схема имеет следующие обозначения: b_n – ширина песчаной подушки (поверху); h_1 – высота песчаной армированной подушки (по оси симметрии); F – линейная вертикальная нагрузка; – вертикальная составляющая реакции отпора грунта; S_1 – вертикальная деформация песчаной армированной подушки в месте приложения нагрузки; S_2 – вертикальная деформация слабого глинистого основания без учёта деформации песчаного массива.

Применим решение (1), к случаю распределённой нагрузки шириной $2b$. Для этого необходимо проинтегрировать решение (1) в пределах действия нагрузки:

$$-F \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi z}} \int_{-b}^b e^{(-\frac{\alpha}{2z}x^2)} dx. \quad (2)$$

Так как интеграл от (2) является неберущимся в виде аналитической функции, выполним аппроксимацию функции $y = e^{x^2}$, заменяя её функцией $y = e^{kx}$ (k – коэффициент аппроксимации функции).

Рассмотрим часть симметричной функции $y = e^{x^2}$ и подберём коэффициент аппроксимации k из условия максимального расхождения между площадями фигур, ограниченными этими функциями 5-10%.

После проведения аппроксимации функции получим общее решение:

$$\sigma_z = -F \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi z}} e^{(-\frac{0,9061\alpha}{2z})}. \quad (3)$$

Проинтегрировав общее решение (3) в пределах от $+b$ до $-b$, получим частное решение для равномерно распределённой нагрузки:

$$\sigma_z = -\left(\frac{0,9061 \cdot F \cdot \alpha}{z}\right) \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi z}} \left[e^{(-0,9061(x-b)\frac{\alpha}{2z})} - e^{(-0,9061(x)\frac{\alpha}{2z})} \right]. \quad (4)$$

Для нахождения коэффициента структуры α зададимся условием совпадения средних экспериментальных значений вертикальных напряжений полученных в экспериментальных исследованиях [2] в фиксированных по высоте плоскостях песчаной подушки с теоретическими значениями средних напряжений по общему решению (3):

$$\sigma_z^{теор} = \sigma_z^{экспер}. \quad (5)$$

С целью получения среднего значения коэффициента структуры по глубине подушки проинтегрируем обе части выражения:

$$\int_0^x \sigma_z^{\text{теор}} dx = \int_0^x \sigma_z^{\text{экспер}} dx, \quad (6)$$

где x – переменный предел интегрирования, равный при фиксированной глубине z горизонтальному размеру песчаной подушки.

Общая осадка загруженного основания, усиленного песчаной армированной подушкой, будет состоять из осадки от деформации сжатия самой песчаной подушки (S_1) и осадки слабого глинистого основания (S_2):

$$S = S_1 + S_2. \quad (7)$$

Деформация песчаной армированной подушки ограниченной мощности от линейной нагрузки определяется выражением:

$$S_1 = \frac{1}{E} \cdot \int_0^{h_1} \sigma_z dz, \quad (8)$$

где E – приведённый модуль деформации песчаной армированной по контуру подушки; h_1 – высота песчаной подушки по оси симметрии.

Проинтегрировав выражение (8) при $x=0$, получим зависимость от вертикального перемещения (осадки) массива мощностью h_1 по линии загрузки:

$$S_1 = \frac{2F}{E} \cdot \sqrt{\frac{\alpha \cdot h_1}{2\pi}}. \quad (9)$$

Деформацию глинистого основания предлагается определить методом послойного суммирования с шириной условного фундамента, равной ширине песчаной армированной подушки по верхней части, исходя из условия равенства средних значений вертикальных напряжений на границе «песчаная армированная подушка – слабый грунт» и условного фундамента (рисунок 3).

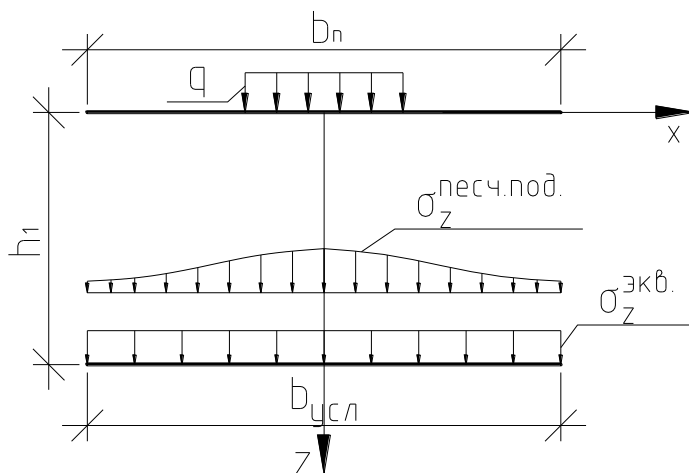


Рис. 3- Расчётная схема к определению осадки слабого основания

Для этого приравняем средние значения напряжений под криволинейной подошвой песчаной армированной подушки к эквивалентным напряжениям условного фундамента:

$$\int_{-b_{усл}/2}^{b_{усл}/2} \sigma_z^{\text{песч.под.}} dx = \int_{-b_{усл}/2}^{b_{усл}/2} \sigma_z^{\text{экв.ф.}} dx.$$

По предложенной методике расчёта был выполнен прогноз осадки фундамента на слабом глинистом основании, усиленном песчаной армированной по контуру подушкой с криволинейной подошвой, и выполнено сопоставление результатов расчёта с экспериментальными значениями осадок, полученных при проведении полевых испытаний [3].

Расчёт осадки выполнялся для 6 ступеней нагружения с шагом давления 40кПа, что полностью соответствует ступеням нагружения при проведении натурного эксперимента.

Результаты расчёта приведены на графике «осадка-давление» (рисунок 4).

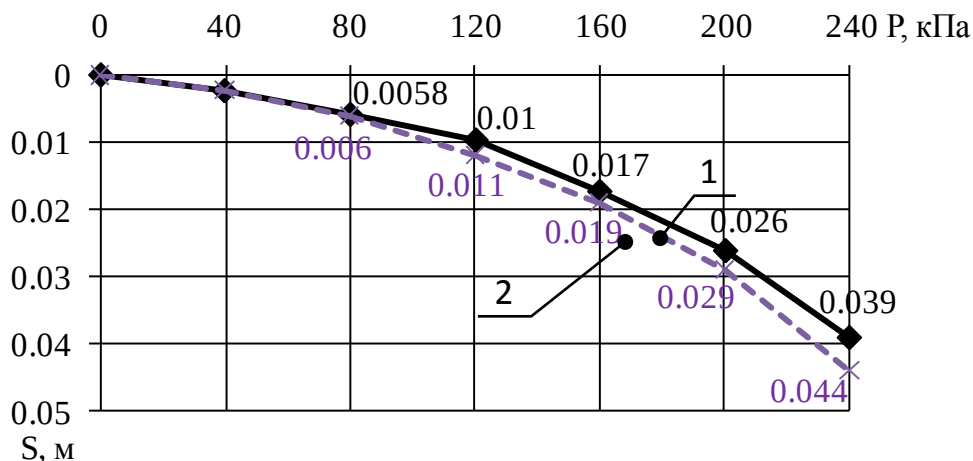


Рис. 4- Сопоставление результатов расчёта осадки фундамента на слабом глинистом основании, усиленном песчаной армированной по контуру подушкой, с криволинейной подошвой с экспериментальными данными полевого эксперимента;
1- эксперимент; 2 - теория.

Анализируя полученные графики «осадка – давление» видно, что расхождение результатов аналитического расчёта с результатами натурного эксперимента не превышает 15%. Данный факт говорит о возможности использования предложенной методики расчёта с применением коэффициента распределительной способности среды α , определённого экспериментальным путём, для расчёта песчаных армированных по контуру подушек с криволинейной подошвой.

Список литературы

1. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и её применение в строительстве – Л.: Стройиздат, 1988. – 280с.
2. Краев А.Н. Экспериментальные исследования работы слабого глинистого основания, усиленного песчаной армированной подушкой с криволинейной подошвой / А.Н. Краев // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань, 2013г. – №5. – С.221-224.
3. Бай, В.Ф., Краев А.Н. Исследование работы песчаной армированной по контуру подушки с криволинейной подошвой в условиях слабых глинистых грунтов / В.Ф. Бай, А.Н. Краев // Вестник гражданских инженеров. – Санкт-Петербург, 2014 г. – №3 (44). - С.107-110.

05.02.11

О.В. Балина к.т.н., В.В. Насонов к.т.н., Л.Н. Насонова

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
кафедра материаловедения и технологии конструкционных материалов,
НИИ надежности и безопасности материалов и конструкций,
Тюмень, nbmk@tsogu.ru

ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ: МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

В работе рассмотрены методы повышения достоверности диагностики и анализа состояния металлоконструкций, основанные на системном эффекте совместного использования дефектоскопии и магнитного структурного анализа.

Ключевые слова: диагностика, анализ состояния, усталостные повреждения, коэрцитивная сила.

Изменения законодательства в области промышленной безопасности расширили возможности применения новых методик и технических средств, применяемых при экспертизе технических устройств [1]. Использование только традиционных методов неразрушающего контроля в ряде случаев не позволяет выявить все повреждающие факторы, зачастую необходимы дополнительные мероприятия, учитывающие специфику объекта.

В статье представлены результаты экспертизы шлейфов и метаноопроводов газовых скважин, эксплуатируемых в субполярной климатической зоне, с использованием дополнительных методов диагностики и анализа, учитывающих специфические особенности обследуемых объектов.

Обследованные трубопроводы проложены надземно, смонтированы с использованием ручной электродуговой сварки из труб (стали 09Г2С и 10Г2С1) и введены в эксплуатацию в 1985-1987гг. В настоящее время скважины эксплуатируются в условиях снижения пластового давления, соответственно снижено давление и в шлейфах скважины до 4,0 МПа (проектное расчетное давление - 20 МПа, рабочее - 12,5 МПа; рабочая среда - газ, газовый конденсат, метанол).

Работы выполнялись в полевых и лабораторных условиях с использованием приборов: ультразвуковой толщиномер 26 MG; ультразвуковой дефектоскоп УД 9812; постоянный магнит МДС-3; ручной лазерный дальномер DISTOA 3; твердомеры УЗИТ-2М, INDENTEC 6030 LKV, ПМТ-3; оптический микроскоп МЕТАМ ЛВ-31; растровый электронный микроскоп-микроанализатор JED-2300; коэрцитиметр К-61; спектрометр ДФС-71. Статистическую обработку результатов измерений выполняли с использованием программ SPSS-3.1 и REGRESS-2.

Микроструктура образцов труб исследовалась в лабораторных условиях при помощи оптической, растровой электронной микроскопии и рентгенофлюоресцентного микроанализа. Микроструктура металла труб феррито – перлитная. Микроструктура металла кольцевых сварных швов, соединяющих участки труб, имеет все характерные зоны. Значимых изменений содержания легирующих элементов относительно глубинных слоев изделия не обнаружено. Особенности, свидетельствующих о деградации материала, не выявлено. По составу и структуре образцы соответствуют сталям 09Г2С и 10Г2С1 (ГОСТ 19282-73).

По результатам визуального и измерительного контроля дефектов основного металла и сварных соединений трубопровода не обнаружено. Также не обнаружено недопустимых дефектов по результатам выборочной ультразвуковой и магнитопорошковой дефектоскопии.

Для уточнения полученных данных параллельно традиционным методам диагностики проводились замеры коэрцитивной силы (H_c), позволяющие определить неоднородные по толщине или свойствам участки трубопровода. Измерение коэрцитивной силы выявили неоднородности магнитных свойств в основном металле труб. После обнаружения проблемных участков, с отклонениями величины H_c , проведено их более подробной обследование. Ультразвуковая толщинометрия (УЗТ) и дефектоскопия (УЗД) выявили наличие язвенной коррозии и недопустимое утонение стенки. По результатам контроля отбраковано 120 м метанолопровода. Можно отметить, что величина H_c возрастает с уменьшением толщины стенки трубы. Для остальных метанолопроводов утонение стенок за счет коррозии описывается нормальным законом. Результаты толщинометрии по всем направлениям трубы статистически однородны.

Преимуществом измерения коэрцитивной силы по сравнению с УЗТ является возможность контроля материала с большей площади и через слой немагнитной изоляции толщиной до 1 мм.

Для оценки изменения в процессе эксплуатации механических свойств, на элементах основного металла и сварных соединениях труб проведены испытания на ударный изгиб, выполнены замеры твердости и коэрцитивной силы. Значения твердости обследованных трубопроводов и вырезанных образцов находятся в допустимом диапазоне, установленном ГОСТ 8733-87. Полученные значения ударной вязкости (при $+20^\circ\text{C}$ и -60°C) подтвердили соответствие ее величины требованиям норм проектирования. Значения H_c закономерно увеличиваются в зонах термического влияния сварных швов, как и твердость.

Далее, для оценки усталостных повреждений, проанализированы диспетчерские данные о суточных колебаниях давления в шлейфе и температуры окружающей среды за 2005-2010 гг, циклические температурные напряжения в области компенсаторов, величины напряжений в металле трубы.

При расчетном сроке эксплуатации 40 лет и 150 циклах в год изменения давления (от 3 до 4 МПа) вероятность разрушения трубопровода составит менее $10^{-3}/\text{км}$, а при фактической частоте нагружения, не более двух циклов в год, за счет сезонных колебаний давления, вероятность разрушения будет составлять менее $10^{-5}/\text{км}$.

За счет теплового расширения в компенсаторах могут возникнуть упругие и пластические деформации. Поэтому необходимо оценить крайние случаи нагружения, т.е. в области упругой и пластической деформации [2].

Упругая деформация - компенсаторы работают в области упругих напряжений. Примем для расчетов 60 циклов колебаний напряжений в год за счет термического расширения, что за 40 лет эксплуатации составит 2,4 тыс. циклов. При амплитуде напряжений не более 0,2 предела текучести, после наработки 7×10^3 циклов, вероятность разрушения равна $10^{-4} \div 10^{-3}$.

Пластическая деформация - компенсаторы работают в области пластических деформаций. Примем для расчетов также 60 циклов колебаний напряжений в год за счет термического расширения, что за 40 лет эксплуатации составит 2,4 тыс. циклов. При амплитуде напряжений 1,1-1,2 предела текучести, после наработки 4×10^3 циклов, вероятность разрушения составит 5×10^{-2} .

Кроме расчетных методов, для определения величины и неоднородности напряжений в стенке трубы выполнены замеры H_c ($H_c^\perp$ и $H_c^\parallel$ - коэрцитивная сила поперек и вдоль трубы соответственно). В лабораторных условиях были получены зависимости H_c от напряжений при растяжении (σ) образцов из сталей 09Г2С разных производителей, и опытным путем определен условный предел текучести для каждого образца. В таблице 1 приведены некоторые данные этих результатов.

Значение H_c вдоль и поперек образца возрастает при увеличении напряжений, но параметр коэрцитивной силы также чувствителен к составу и свойствам материала трубы. Начальное значение H_c может различаться в пределах марки стали. Например, для труб из стали 09Г2С производства России, Германии, Италии и Японии разброс H_c составляет около 100 А/м, что дает большую погрешность определения напряжений по ее значению.

Таблица 1 - Результаты измерения H_c при испытаниях на растяжение

Сталь	$\sigma_{0,2}$	$H_c, A/m, \text{ при } \sigma, \text{ МПа,}$					
		$\sigma = 0$		$\sigma = 35$		$\sigma = 125$	
		$H_c^\perp$	H_c''	$H_c^\perp$	H_c''	$H_c^\perp$	H_c''
09Г2С, №1	257	392	381	450	357	553	347
09Г2С, №2	353	513	520	540	480	649	452
09Г2С, №3	242	359	365	470	325	565	339
09Г2С, №4	210	321	336	400	280	526	298

Для возможности использования параметра коэрцитивной силы при оценке напряжений были введены их безразмерные параметры ($H_{отн}$, $\sigma_{отн}$) и определена взаимосвязь между ними, т.е. относительными величинами коэрцитивной силы и напряжений в долях условного предела текучести ($\sigma_{0,2}$) (рис. 2).

$$H_{отн} = (H_c^\perp - H_c'') / (H_c^\perp + H_c'')$$

$$\sigma_{отн} = \sigma / \sigma_{0,2}$$

Достоинством описанного метода является возможность оценки соответствия величины напряжений труб нормам проектирования, с учетом всех эксплуатационных нагрузок, путем измерения одного параметра [3].

По результатам оценки усталостных повреждений можно сделать вывод, что наиболее опасным параметром являются циклические температурные напряжения в области компенсаторов, вызывающие пластическую деформацию. Метод оценки напряжений с использованием параметра коэрцитивной силы и показатели твердости в области компенсаторов позволили сделать вывод, что компенсаторы работают только в упругой области. Остальные усталостные нагрузки не оказывают значимого влияния на возможность разрушения трубопровода.

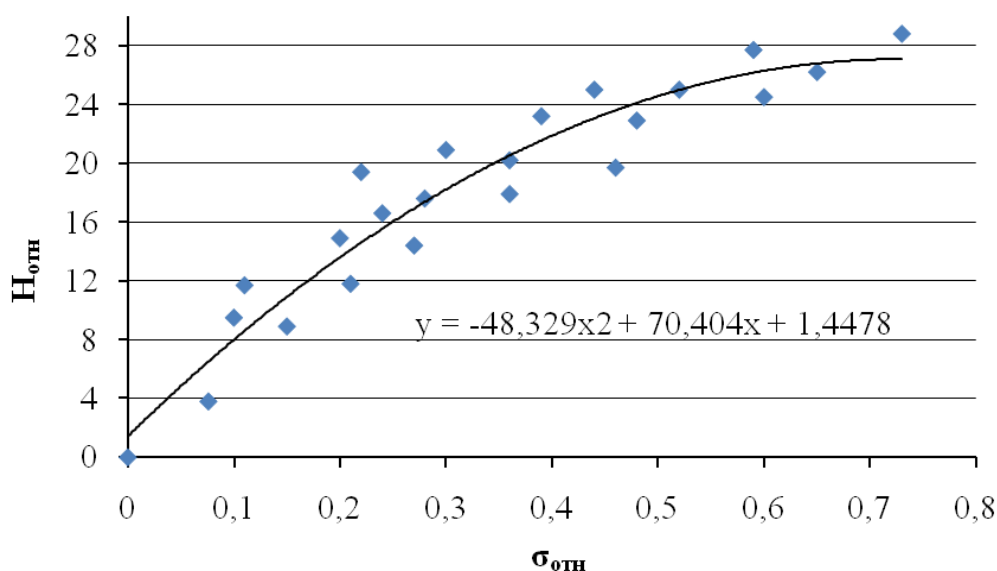


Рис. 2 – Зависимость относительных величин коэрцитивной силы и напряжений

Анализ полученных данных и результатов расчетов, характеризующих состояние объекта после длительной эксплуатации (микроструктура, ударная вязкость, твердость, коэрцитивная сила) с учетом их вариаций, не выявил недопустимой деградации материала после 25-летней эксплуатации.

Использование дополнительных методов диагностики и анализа существенно повысило точность оценки усталостных повреждений и производительность контроля в полевых условиях. С учетом показателей коэрцитивной силы были отбракованы участки

трубопровода из-за утонения стенок, исключено малоцикловое нагружение компенсаторов в области пластической деформации и обосновано соответствие величины напряжений с учетом всех эксплуатационных нагрузок нормам проектирования.

Повышенная чувствительность коэрцитивной силы к составу, структуре и свойствам материала требует подробных лабораторных испытаний и создания базы данных для различных марок сталей. Использование полученных зависимостей сократит время диагностики в полевых условиях. Относительно быстрый замер H_c на большой площади через слой немагнитной изоляции позволяет выявить неоднородности материала и уже прицельно использовать другие методы контроля для идентификации возможных дефектов.

Список литературы

1. Федеральный закон от 21.07.1997г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. Ковенский И.М., Насонов В.В., Балина О.В. Влияние усталостного нагружения в малоцикловой области на структуру и свойства трубных сталей. Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2008. – №3. – С.41-46.
3. Новиков В.Ф., Бахарев М.С., Насонов В.В., Яценко Т.А. «Измерение напряжений в стали с помощью коэрцитиметра». «Известия ВУЗов. Нефть и газ». – 2005. – № 2. – С. 89-94.

05.17.08

В.Ф. Беккер, Ю.А. Садырева, И.Ф. Киссельман

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал, Березники, bekker@bf.pstu.ac.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ В АППАРАТЕ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Проведено экспериментальное исследование пылеулавливания в аппарате с вращающейся подвижной насадкой. Выполнен анализ механизма пылеулавливания. Показана эффективность процесса для очистки пылевых выбросов производства хлорида калия.

Ключевые слова: *аппарат с подвижной насадкой, вращение насадки эффективность, улавливание пыли, хлорид калия.*

Возросшие в последнее время экологические требования к очистке больших объемов пылевых выбросов, образующихся в производстве хлорида калия, ставят задачу создания высокоэффективного оборудования. Этой задаче во многих случаях удовлетворяют аппараты с подвижной насадкой, в которых взаимодействие газа и жидкости характеризуется значительной величиной и скоростью обновления поверхности контакта фаз. Однако эффективность их применения для мокрой очистки газовых выбросов производства хлорида калия не известна и требует теоретических и экспериментальных исследований.

Основные характеристики пыли, образующейся в производстве калийных удобрений, приведены в таблице. Для проведения экспериментов на опытной установке были взяты пробы пыли, образующейся при сушке галургического хлорида калия в трубе-сушилке. Предварительные исследования структуры потоков в аппарате с подвижной насадкой позволили определить границы устойчивой работы колонны при различных нагрузках по газу и различных плотностях орошения [2]. Для непрерывного мониторинга дисперсного состава образцов пыли в режиме реального времени использовался лазерный анализатор *Lasentec (D600L)* компании *Mettler Toledo*.

Характеристики пылевых выбросов калийного производства

Наименование пыли	Размер, мкм	Плот- ность матери- ала, кг/м ³	Насып-ная плот- ность, кг/м ³	Угол естественного откоса (угол обрушения), ⁰	Разрывная прочность пылевого слоя, Па
Пыль при сушке галур- гического хлорида ка- лия в трубе-сушилке калийного комбината перед системой газоочистки	1,6 ... 40	2050	640	90	376
Пыль из бункера цик- лона при сушке флота- ционного калийно-маг- ниевого концентрата в аппарате «кипящего слоя»	4 ... 100	2500	780	56,5	< 30

Установлено, что прогнозируемая эффективность улавливания частиц возрастает с ростом скорости газового потока, при этом одновременно увеличивается гидравлическое сопротивление аппарата. Выявлено, что пик эффективности в 96,8% соответствует скорости

4,11 м/с. Дальнейшее увеличение скорости газа ведет к снижению эффективности из-за увеличения каплеуноса. Приведение подвижной насадки во вращение создает вихревые зоны с определенным заданным шагом как в продольном, так и в поперечном сечениях, обеспечивает равномерное распределение потоков и однородность газожидкостного слоя [1].

Осаждение частиц в слое подвижной насадкой происходит под действием турбулентно-инерционного и диффузионного осаждения. Общая эффективность улавливания η определяется [3]:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_{\text{Stk}})(1 - \eta_D), \quad (1)$$

где η_{Stk} , η_D – эффективность турбулентно-инерционного и диффузионного осаждения соответственно.

Для описания процесса пылеочистки рассмотрим оба механизма осаждения пылевых частиц. Для турбулентно-инерционного механизма осаждения частиц в аппаратах с подвижной насадкой примем допущения:

- 1) частицы осаждаются только на каплях жидкости;
- 2) капли равномерно расположены по сечению аппарата;
- 3) при описании процесса пылеулавливания связь между концентрациями имеет вид:

$$z_{\hat{e}} = z_i \exp\left(-\frac{3}{2} \cdot \frac{L}{G} \cdot \frac{K_{\zeta} w_{i\hat{o}\hat{i}}}{w_{\hat{e}} d_{\hat{e}}} \cdot H_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}}\right), \text{ где } z_{\kappa}, z_{\text{н}} - \text{конечная и начальная концентрации пыли}$$

в потоке газа, кг/м³; L , G – объемный расход орошающей жидкости и газа соответственно, м³/с; $w_{\hat{e}}$ – скорость капли, м/с; $w_{i\hat{o}\hat{i}}$ – относительная скорость осаждения пыли, м/с; $\hat{I}_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}}$ – динамическая высота слоя, м; $d_{\hat{e}}$ – диаметр капли, м.

- 4) эффективность определяем как отношение

$$\eta_{\text{Stk}} = \frac{z_i - z_{\hat{e}}}{z_i} = 1 - \exp\left(-\frac{3}{2} \cdot \frac{L}{G} \cdot \frac{K_{\zeta} w_{i\hat{o}\hat{i}}}{w_{\hat{e}} d_{\hat{e}}} \cdot H_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}}\right). \quad (2)$$

Применение уравнения (2) для расчета степени пылеулавливания связано с необходимостью определения скорости частиц и капель на различных участках аппарата, а также с определением коэффициента захвата, который зависит от гидродинамического режима обтекания и критерия Стокса $K_{\zeta} = f(\text{Re}, \text{Stk}, d_{\div}/d_{\hat{e}})$. При осаждении пылевых частиц наблюдается следующий механизм взаимодействия. Частица подходит к поверхности жидкости, затем в зависимости от величины сил, действующих на частицу и определяемых физико-химическими свойствами орошающей жидкости, наблюдается либо адгезионный захват, либо упругое отталкивание. Если же произошел захват, то в результате смачивания частицы имеет место третья стадия – внедрение в слой жидкости. Для определения коэффициента захвата с учетом описанного механизма взаимодействия и безразмерного диаметра тела осаждения $d_{\hat{e}}/d_{\div}$ применили подход, предложенный в работе [4], где приведена зависимость для определения коэффициента захвата с учетом сил, определяемых физико-химическими свойствами частиц:

$$K_{\zeta} = K'_{\zeta} \frac{k_1}{k_2 - k_1} \left[\exp\left(-k_1 \frac{d_{\hat{e}}}{d_{\div}}\right) - \exp\left(-k_2 \frac{d_{\hat{e}}}{d_{\div}}\right) \right], \text{ где}$$

K'_{ζ} – коэффициент захвата, определяющий только подвод частиц к поверхности осаждения, рассчитывается по уравнению Ленгмюра $K'_{\zeta} = \text{Stk}^2 / (\text{Stk} + 0,125)^2$; k_1 , k_2 – коэффициенты, учитывающие вероятность столкновения и влияние физико-химических свойств соответственно. В работах [3] на основании обработки экспериментальных данных показано,

что отношения $\frac{k_1}{k_2 - k_1}$ близко к единице, т.е. $K_{\zeta} = K'_{\zeta} \left[\exp\left(-k_1 \frac{d_{\hat{e}}}{d_{\div}}\right) - \exp\left(-k_2 \frac{d_{\hat{e}}}{d_{\div}}\right) \right]$.

Для определения влияния физико-химических свойств частиц на коэффициент захвата рассмотрим механизм погружения частицы в каплю. Исследования столкновений частиц с различной степенью гидрофильности размером 5 ... 100 мкм со скоростями от 0,5 до 12 м/с с водяной каплей диаметром 1 ... 2 мм [3] показало, что на чистой поверхности капли все столкновения эффективны и приводят к осаждению частиц независимо от смачиваемости. Растворимость пыли сказывается только для крупных фракций.

При диффузионном механизме осаждения частиц аппарат с подвижной насадкой рассматриваем как ряд ячеек идеального перемешивания, количество которых равно числу слоев подвижной насадки по высоте аппарата. При этом уравнение для описания диффузионного механизма осаждения частиц в вихревых зонах имеет вид $\frac{dz}{dt} = w_z \frac{dz}{dx} - K_V z$,

где $K_V = K_F a$ – коэффициент скорости пылеулавливания, с^{-1} ; a – удельная поверхность раздела фаз, $\text{м}^2/\text{м}^3$; $K_F \approx (D_i + D_o)/t_a$, D_M , D_T – коэффициент молекулярной и турбулентной диффузии частицы соответственно; t_g – вертикальный шаг расположения насадочных тел. При осаждении частиц в вихревых зонах $D_M \ll D_T$, поэтому $K_F \approx D_o/t_a$.

Решение уравнения имеет вид $z_i = z_{i-1} \exp\left(-\frac{K_V}{w_a} t_a\right)$. Тогда

$$\eta_D = \frac{z_{i-1} - z_i}{z_{i-1}} = 1 - \exp\left(-\frac{K_V}{w_a} t_a\right). \quad (3)$$

Взаимосвязь коэффициента D_T частиц с коэффициентом турбулентной диффузии среды D_c выражается зависимостью $D_T = \mu_q D_c$, где μ_q – степень увлечения частиц турбулентными пульсациями.

Коэффициент турбулентной диффузии среды является функцией пульсационной скорости w' и определяющего размера l : $D_c \sim w' l$. Так как вблизи поверхности осаждения скорость турбулентных пульсаций резко снижается, то средняя скорость движения пыли, равна пульсационной скорости. В этом случае путь, который проходит частица, составит длину инерционного пробега, принимаемую в качестве определяющего размера l .

Для определения степени увлечения частицы рассмотрим ее пульсационное движение относительно несущего газа в пределах периода пульсаций Δt . Вследствие пульсаций скорости степень увлечения частицы изменится на величину $\Delta \mu_{\pm} = K_{\text{оср}} (\mu'_{\pm} - \mu_{\pm}) \Delta t$, где

$K_{\text{оср}} = 1/\tau$ – коэффициент, учитывающий осреднение скорости пульсаций по времени; $\mu'_{\pm}$, $\mu_{\pm}$ – начальная и конечная степени увлечения частицы соответственно. Преобразуя и переходя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получим $\frac{1}{K_{\text{оср}}} \cdot \frac{d\mu_{\pm}}{dt} + \mu_{\pm} = \mu'_{\pm}$. Решение имеет вид

$\mu_{\pm} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}}$, где ω – частота пульсаций, с^{-1} . Для контактной зоны аппарата частота

пульсаций будет определяться частотой срыва вихрей с элементов насадки, которая в диапазоне $500 < \text{Re} < 10^6$ определяется по числу Струхала $\text{St} = \omega \cdot d_{\theta} / w_a$. Анализ уравнений (1), (2), (3) позволил получить графическую зависимость эффективности очистки от диаметра частиц (рис. 1).

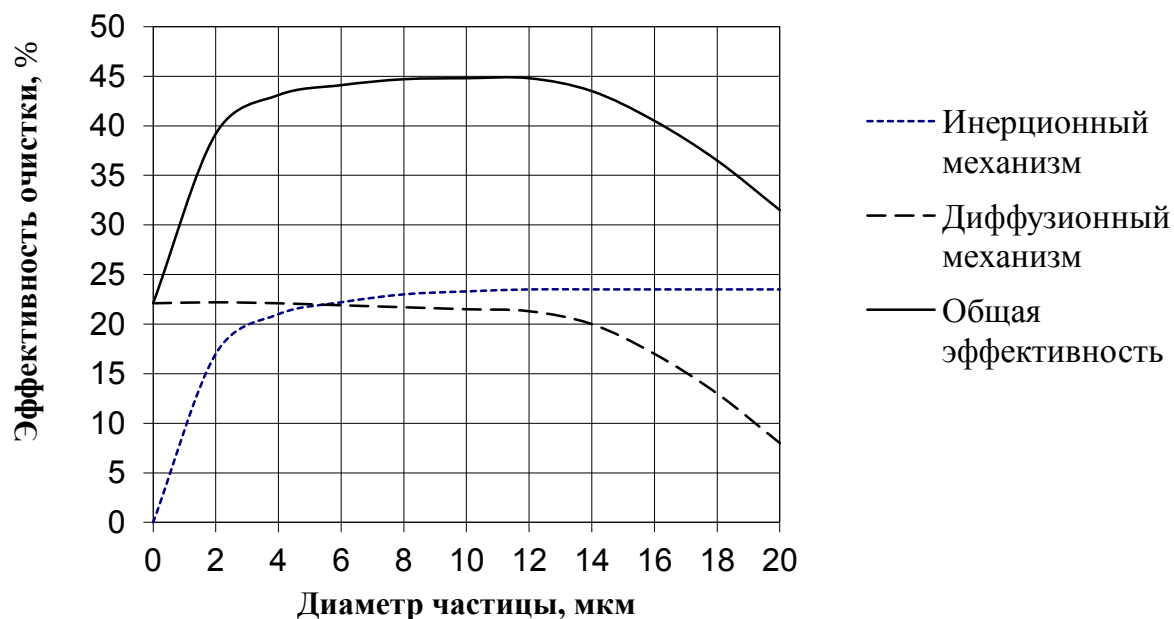


Рис. 1. Зависимость эффективности очистки от диаметра частиц пыли

Итак, с увеличением диаметра частиц растет эффективность инерционного механизма пылеочистки и снижается эффективность диффузионного механизма. Общая эффективность очистки растет до достижения частицей диаметра 8 ... 12 мкм. Таким образом, аппараты с подвижной насадкой можно рекомендовать для эффективного улавливания твердых частиц в газовых выбросах как галургического, так и флотационного калийных производств.

Список литературы

1. Беккер В.Ф. Насадка для теплообменных аппаратов. Патент 2124941 РФ, МПК В01J 19/00, – Оpubл. 20.01.1999.
2. Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф., Садырева Ю.А. Анализ механизма осаждения пылевой фракции хлорида калия в слое орошаемой подвижной насадки. Науч.-техн. вестн. Поволжья, 2014, №4. – С. 54-58.
3. Стулов Л.Д., Мурашкевич Ф.И., Фукс Н.А. Об эффективности столкновения твердых аэрозольных частиц с поверхностью воды //Коллоидный журнал.– 1978. – Т.40, №3. – С. 513-517.
4. Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей. – М.: АН СССР, 1961. – 160 с.

05.23.03

С.В. Бирюков

Московский государственный строительный университет (МГСУ),
Москва, mail-1000@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА ВОЗДУШНОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ

В статье описаны направления по совершенствованию алгоритмов расчёта воздушного режима здания для новых областей применения. Дано краткое описание принципов работы разработанной компьютерной программы.

Ключевые слова: *программа, расчёт, воздушный режим, алгоритмы*

Для неспециалиста в области ТГВ понятие **воздушный режим здания (ВРЗ)** ни о чём не говорит. Но на самом деле ВРЗ – одна из важнейших тем, в области микроклимата здания. Воздушный режим здания подразумевает собой распределение и движение воздушных потоков в самом здании. Здание живёт, дышит, как единый организм. Часто требуется выполнять расчёты воздушного режима не «пустого» здания, а здания, оборудованного различными системами вентиляции, которые существенно влияют на картину распределения воздушных потоков. При исследовании воздушного режима здания остро стоит вопрос о наиболее точном расчёте расходов через вентиляционные решётки, приточные клапаны в зданиях повышенной этажности с плотными окнами и дверями, с учётом действия систем дымоудаления-подпора до и во время пожара. Выполнить такие расчёты вручную при большом количестве влияющих факторов практически невозможно. Для таких расчётов необходима универсальная программа, которая позволит рассчитать воздушный режим в любом здании и при разных метеорологических и внутренних условиях. Существуют программы, которые способны смоделировать подобные процессы. Но такие программы, как правило, очень громоздки, дороги и сложны в изучении. Возможности, предназначение и алгоритмы расчёта разработанной в период с 2001 по 2003 годы программы “Air” версий до 3.8 детально были описаны в [1] и [2]. С появлением новых задач была доработана программа до новой версии. Она получила ряд отличий в методике расчёта и в функциональных возможностях. Это снизило время на задание исходной информации, улучшило процесс расчёта и позволило расширить функционал.

Созданная программа способна рассчитывать воздушный режим здания с естественной и механической вентиляцией. Метод расчёта учитывает влияние ветрового и гравитационного давлений, сопротивления воздухопроницанию наружных элементов здания (окон, входных дверей, приточных клапанов), внутренних связей между помещениями, работу систем механической и естественной вентиляции. Начиная с версии 3.9, программа была дополнена учётом различной температуры внутреннего воздуха для каждого помещения. Это стало возможным из-за изменений в алгоритме определения внутренних давлений в помещении.

Расчёт воздушного режима с учётом температур внутреннего воздуха каждого помещения.

Существует множество задач, когда требуется выполнить расчёты по заданным температурам. Например, расчёт воздушного режима при пожаре в здании или расчёт при открытом окне. Такие расчёты в настоящее время очень актуальны, особенно в высокоэтажном строительстве. Выполнение подобных расчётов стало доступным после добавления возможности для задания пользователем температуры в каждом конкретном модуле (помещении) или автоматически для целого здания. Для выполнения расчётов потребовалось внести изменения в формулу определения наружного и внутреннего

давлений. Для описания давлений используются классические формулы, что делает возможным получать результат не в относительных единицах, а в обычной шкале измерений. Наружное давление на наветренном (н), заветренном (з) и боковом (б) фасадах определяется для каждого граничащего с наружным воздухом элемента по выражению:

$$P_{\text{ext}} = (H - h_i) \cdot \rho_{\text{ext}} \cdot g + \rho_{\text{ext}} \cdot v^2 \cdot (C_{\text{н,з,б}} - C_z) \cdot k_{\text{дин}} / 2, \quad (1)$$

где

H - высота здания, м, от уровня средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты; h_i - расчётная высота, м, от уровня земли до центра рассматриваемого окна, балконной двери, входной двери в здание и т.д.; ρ_{ext} - плотность, кг/м³ наружного воздуха; g - ускорение свободного падения, 9.8 м/с²; $C_{\text{н}}$, C_z , $C_{\text{б}}$ - аэродинамические коэффициенты, зависящие от конфигурации здания и положения ограждающей конструкции, принимаемые по [3]; $k_{\text{дин}}$ - коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимаемый по [3].

Гравитационное давление на произвольной высотной отметке в здании определяется как сумма гравитационного давления в центре воздухопроницаемого элемента помещения данного уровня и суммы гравитационных давлений в вышестоящих помещениях (при наличии прямой вертикальной связи):

$$P_{\text{г}}^i = \sum_{i=1}^n P_{\text{г}} + \rho_{\text{int}}^i \cdot g \cdot h_{\text{эт}}^i \quad (2)$$

где

$\Sigma P_{\text{г}}$ - сумма гравитационных давлений вышестоящих помещений, рассчитанная на предыдущем шаге, Па; ρ_{int}^i - плотность, кг/м³ внутреннего воздуха; $h_{\text{эт}}^i$ - положение центра воздухопроницаемого элемента относительно пола вышестоящего этажа, м.

При расчёте внутреннего давления могут возникнуть некоторые сложности, так как в здании вертикальные связи между этажами ограничены. Если рассматривать жилое здание, то связь между этажами обеспечивается через лестничную клетку (если она внутри здания), лифтовую шахту, системы естественной вентиляции, сантехнический шкаф и неплотности в перекрытиях. Соответственно, при исключении вертикальных связей влияние температуры внутреннего воздуха на картину потокораспределения по зданию будет исключено. В жилых зданиях для ускорения расчёта можно принимать квартиру за единый объём. Квартиры по вертикали будут сообщаться через системы вентиляции и холл, который выходит в лестнично-лифтовый узел. В общем холле, в высотном здании, обычно установлен клапан дымоудаления. Большинство клапанов не обладают высокой герметичностью, что тоже необходимо учитывать в расчёте.

Для правильного расчёта воздухораспределения в системе вентиляции необходимо учитывать изменение температуры воздуха при смешивании потоков. Это особенно важно, если температуры различаются на порядок, как при пожаре. Была введена *автоматическая корректировка температуры* перемещаемого воздуха в системе естественной вентиляции. Корректировка температуры смеси выполняется на каждом цикле расчёта, исходя из уравнения теплового баланса:

$$C_1 G_1 t_1 + C_2 G_2 t_2 - C_3 (G_1 + G_2) t_x = 0, \quad (3)$$

где

C_1 , C_2 , C_3 - удельные теплоёмкости воздуха до (1, 2) и после смеси (3), кДж/(кг·°C); G_1 и G_2 - расходы смешиваемого воздуха, кг/с; t_1 и t_2 - температуры смешиваемого воздуха, °C; t_x - температура смеси, °C.

Отличительной чертой тракта системы вентиляции является переменность характеристик сопротивления фасонных частей, зависящих от искомых расходов воздуха по отдельным частям системы. Сложность состоит в том, что известные формулы для определения коэффициентов местных сопротивлений (КМС) тройников (крестовин) дают слишком большой разброс значений при незначительном изменении определяющих факторов. Это было детально описано в [4].

Для ввода исходной информации по расчёту систем естественной вентиляции дополнительно был разработан специальный интерфейс, представленный на рис. 1.

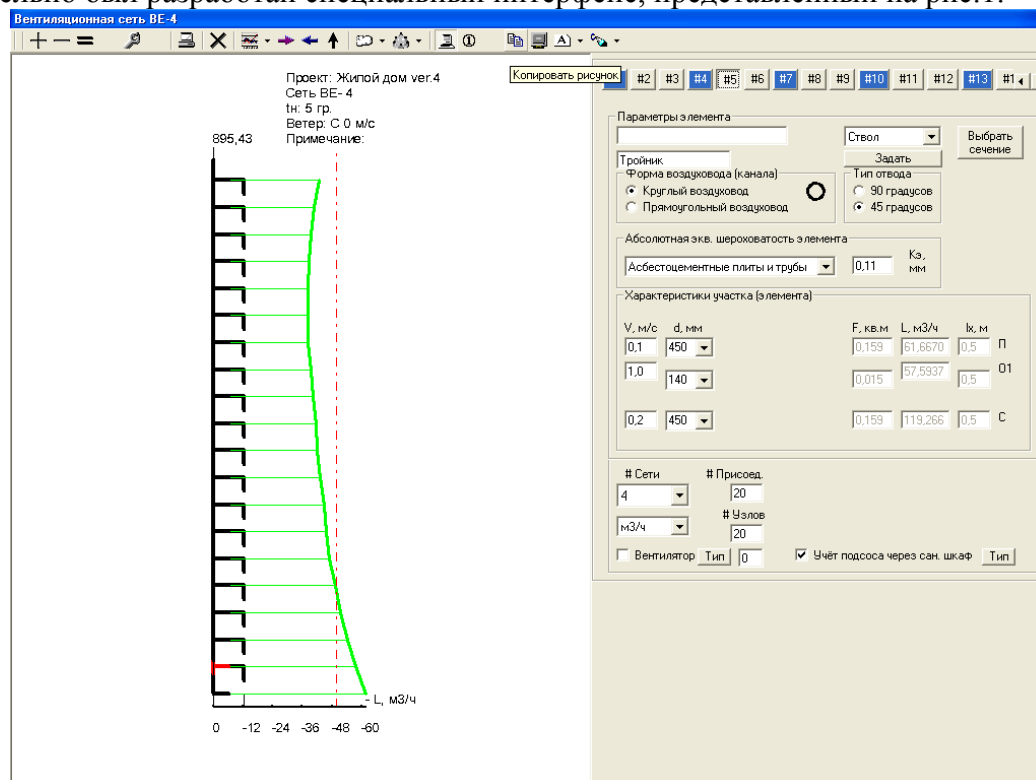


Рис.1. - Графический интерфейс для задания исходной информации по системам естественной вентиляции. В графической области показано распределение расходов воздуха через вентиляционные решётки в 20-этажном жилом здании

Непосредственно перед расчётом необходимо задать начальные приближения внутренних давлений в помещениях и первоначальное распределение расходов. Далее формируется математическая модель воздушного режима здания, в которой каждое помещение, этаж, тройник или крестовина в системе вентиляции является расчётным узлом модели.

Затем определяются предварительные характеристики сопротивлений участков вентиляционной сети. После задания предварительных данных в основном расчётном блоке последовательно от этажа к этажу и от помещения к помещению выполняется расчёт системы уравнений, в процессе которого идет проверка условия на выполнение точности увязки узлов модели. Одновременно корректируются температуры воздуха на участках сети.

Постоянно ведётся совершенствование программы с помощью исследований по улучшению эффективности расчётов сложных (комбинированных систем механической и естественной вентиляции), учёта возможных подсосов и врываний воздуха (например, через сантехнический шкаф) и расширение возможностей программы.

Список литературы

1. Бирюков С.В., Дианов С.Н. Программа расчёта воздушного режима здания. В сборнике статей МГСУ-2001 «Современные технологии теплогазоснабжения и вентиляции» – М.: МГСУ, 2001
2. Бирюков С.В., Дианов С.Н. «Расширение возможностей программы «AIR» для расчета воздушного режима здания». – М: МГСУ в сб. трудов ТГВ-75, 2003
3. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия / Госстрой РФ. – М.: ГУП ЦПП, 1993. – 58с.
4. Бирюков С.В. «Расчёт систем естественной вентиляции на ЭВМ» в сборнике докладов. 7-й научно-практической конференции 18-20 апреля 2002г. «Актуальные проблемы строительной теплофизики» / РААСН РНТОС НИИСФ – М.: 2002.

05.13.11

А.В. Бродский

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
г. Москва, brodski1954@gmail.com

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЯ КОРРЕКТНОСТИ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Статья посвящена актуальным вопросам разработки программных компонент САПР аэрокосмической техники. Рассматривается подход, который на основе анализа структурных свойств математической модели проектируемого изделия позволяет обеспечить переход от вербального описания исходной задачи оптимизации к ее формальной постановке. Сформулированы формальные условия проверки, когда такой переход возможен. Выделены возможные причины некорректности и определены способы их исправления

Ключевые слова: *процесс проектирования, САПР, задача оптимизации, вербальное описание, математическая модель, структурные свойства.*

Одним из существенных отличий проектирования изделий аэрокосмической техники (АКТ) является многоаспектное - аэродинамическое, прочностное, тепловых процессов, геометрическое, весовое и др. - моделирование вариантов проектных решений. В САПР АКТ эти модели, как правило, представлены в виде систем программных модулей, информационные связи между которыми имеют сложную сетевую и многоуровневую структуру [1], [2].

На базе такого рода интегрированной модели может решаться множество различных задач, связанных с синтезом и анализом проектных решений как по отдельным агрегатам АКТ, так и изделий в целом. Постановки этих задач, как показано в [2], могут быть структурированы, а требования к синтезируемым/анализируемым проектным решениям обычно выделяются как ограничения различного вида. Характерной особенностью проектирования АКТ является весьма жесткий характер таких ограничений и часто невозможно выполнить их одновременно. В этом случае постановка задачи определяется как некорректная. Очевидно, что возможность проводить анализ задач на корректность их постановки, т.е. на наличие непустого множества допустимых проектных решений до выполнения реальных вычислений позволит существенно повысить эффективность проектных процедур. В представленной работе предлагаются формальные условия, которые позволяют в САПР АКТ диагностировать корректность поставленной задачи. Эти условия базируются на анализе структуры присутствующей в САПР интегрированной модели класса изделий, к которому относится проектируемое изделие.

В работе за основу взяты задачи оптимизации как одни из наиболее часто решаемых в процессе проектирования объектов АКТ. При этом их решение требует весьма значительного количества как вычислительных, так и интеллектуальных ресурсов.

В [3] сформулированы задачи, решение которых обеспечивает формирование корректной постановки задачи оптимизации по ее вербальному описанию:

A1 - выделение целевой функции и функциональных ограничений из содержащейся в САПР в виде пакета прикладных программ математической модели проектируемого объекта;

A2 - определение корректности исходного вербального описания решаемой задачи;

A3 - определение возможных причин в случае некорректности вербального описания.

Исходными данными для решения перечисленных задач являются вербальное описание решаемой задачи оптимизации $\mathcal{V}$ в виде кортежа

$\mathcal{V} = \langle K, X, Y, Z, \hat{X}, D_Y, D_Z \rangle$,

где K – критерий;

X – вектор фиксированных параметров;

Y – вектор выбираемых (варьируемых или управляемых) параметров;

Z – вектор ограниченных параметров;

$\hat{X} = \{\hat{X}^1, \hat{X}^2, \dots, \hat{X}^{N_x}\}$ – принятое значение вектора фиксированных параметров, где $\hat{X}^i$ – значение i -й компоненты вектора $X = \{X^1, X^2, \dots, X^{N_x}\}$, N_x – размерность вектора X ;

D_Y – множество рассматриваемых значений варьируемых параметров, которое в силу взаимной независимости этих параметров задается в виде: $D_Y = \prod_{t=1}^{N_Y} [Y^{t_n}, Y^{t_b}]$, где Y^{t_n}, Y^{t_b} – нижняя и верхняя границы, соответственно, рассматриваемых значений t -ой компоненты вектора $Y = \{Y^1, Y^2, \dots, Y^{N_Y}\}$, N_Y – размерность вектора Y ;

D_Z – множество допустимых значений ограниченных параметров $Z = \{Z^1, Z^2, \dots, Z^{N_Z}\}$, задаваемым, как правило, в виде $D_Z = \prod_{t=1}^{N_Z} [Z^{t_n}, Z^{t_b}]$, где Z^{t_n}, Z^{t_b} – определяется аналогично Y^{t_n}, Y^{t_b} , N_Z – размерность вектора Z .

А также математическая модель, трактуемая как накопленный и обобщенный опыт и знания в области проектируемого изделия и представленная в САПР в виде системы неявных отношений $M_2 = \langle \Phi, P, \mathcal{R}, \Omega \rangle$,

где $\Phi = \{\varphi_j\}$ ($j = 1, 2, \dots, N$) – множество неявных отношений,

$P = \{p_t\}$ ($t = 1, 2, \dots, n$) – конечное множество переменных модели, описывающих моделируемый объект,

n, N – число переменных и отношений модели соответственно,

$\mathcal{R} = \{r_j\}$ ($j = 1, 2, \dots, N$) – множество рангов отношений из Φ ,

$\Omega = \prod_{p_t \in P} \Omega p_t$ – множество допустимых значений переменных, определенное как прямое произведение множеств допустимых значений Ωp_t элементов множества P .

Целью является получение корректной формальной постановки $\mathcal{W} = \langle K, X, Y, Z, \hat{X}, D_Y, D_Z, f, h \rangle$,

где $f(X, Y)$ – функция, определяющая значения критерия (целевая функция);

$h(X, Y, Z)$ – вектор ограничений типа равенств. При этом без нарушения общности параметрические ограничения типа неравенств вида $g(X, Y) \leq 0$ могут быть приведены к ограничениям типа равенства $h(X, Y, Z) = g(X, Y) + a = 0$ и ограничениям на параметр: $a \geq 0$, $a \in Z$

Чтобы определить условия выделения целевой функции задачи оптимизации $\varphi_f(X, Y, K) = 0$ и вектора функциональных ограничений h из $\Phi \subset M_2$, введем в рассмотрение полное и определяющее множества вычислимых отношений.

Пусть операция определяется тройкой $(F, \hat{U}, \hat{V})$, где F – оператор, порожденный отношением F и реализующий однозначное отображение $\Omega_u \rightarrow \Omega_v$, $\hat{U}$ – значение входа оператора, $\hat{V}$ – значение выхода. Под выполнением операции понимается применение оператора F к значению входа $\hat{U}$, в результате чего определяется значение выхода $\hat{V}$. Будем считать, что реализующая система допускает два типа операций. Для операции 1-го типа (прямой просчет) $U = \chi_F, V = \lambda_F$, где χ_F и λ_F – вход и выход отношения F , и тогда $\hat{V} = F(\hat{U})$. Операция 2-го типа (решение системы уравнений) имеет место, если $U \cap \lambda_F \neq \emptyset$. В этом случае полагаем, что $\hat{V}$ определяется на базе оптимизационных методов следующим образом: $\hat{V} = \hat{V}_\chi^* \cup \hat{V}_\lambda^*$, $\hat{V}_\chi^* = \operatorname{argmin} \zeta(\operatorname{Pr}_{U_\lambda} F(U_\chi \cup V_\chi) - \hat{U}_\lambda)$, $\hat{V}_\lambda^* = \operatorname{Pr}_{V_\lambda} F(\hat{U}_\chi \cup \hat{V}_\chi^*)$, где $V_\chi = V \cap \chi_F$; $V_\lambda = V \cap \lambda_F$; $U_\chi = U \cap \chi_F$; $U_\lambda = U \cap \lambda_F$; $\operatorname{Pr}_V U$ – проекция множества U на гиперплоскость, координатные оси которой есть переменные из V . При этом если $T = \varphi(U), V \subseteq T$, то $\operatorname{Pr}_V \varphi(U) = \operatorname{Pr}_V T$; ζ – некоторая функция от невязок между текущим и заданным значением переменных U_λ .

Полным множеством вычислимых отношений будем называть множество отношений, допускающих выполнение операций как 1-го, так и 2-го типа при известных значениях

переменных некоторого множества I . Будем обозначать его $\Phi^n(I)$, а через $\mathfrak{A}^n(I)$ обозначим множество переменных, значения которых могут быть получены в результате выполнения операций, порожденных отношениями из $\Phi^n(I)$: $I \Rightarrow \mathfrak{A}^n$.

Пусть $T: T \subseteq \mathfrak{A}^n(I), T \cap I = \emptyset$ — некоторая совокупность переменных. Определяющим множеством вычислимых отношений $\Phi^{op}(I, T)$ будем называть подмножество $\Phi^n(I)$ такое, что удаление из него хотя бы одного элемента приводит к нарушению условия $T \subset \mathfrak{A}^n(I)$.

На основании введенных определений можно показать, что для вербального описания задачи оптимизации $\mathcal{V}$ формальная постановка $\mathcal{W}$ существует на математической модели M_2 , тогда и только тогда, когда при $I = \{X, Y\}$ выполняются

$$\Phi^n(I) \neq \emptyset, \quad (1)$$

$$\{K, Z\} \subseteq \mathfrak{A}^n(I). \quad (2)$$

При этом целевая функция φ_f и функциональные ограничения h составляют определяющее множество вычислимых отношений для $T = \{K, Z\}$, т.е. $\{\varphi_f, h\} = \Phi^{op}(I, T)$.

Будем говорить, что задача $\mathcal{V}$ корректна на модели M_2 , если выполняются следующие условия:

1) существует полное множество вычислимых отношений, удовлетворяющее условиям (1) и (2);

2) компоненты составного вектора $\{X, Y\}$ взаимонезависимы, т.е. отсутствует возможность выражения хотя бы одной из компонент этого вектора через другие;

3) множества D_y и D_z непротиворечивы.

Первое из названных условий связано, во-первых, с определением факта существования при $I = \{X, Y\}$ непустого множества $\Phi^n(I)$, и во-вторых, если это множество не пусто, с определением состава переменных $\mathfrak{A}^n(I)$ и проверкой условия (2). Задача, решение которой связано с определением $\Phi^n(I)$, была рассмотрена выше и состоит в выделении из множества отношений модели M_2 в предположении известных (заданных) значений переменных I замкнутой системы уравнений максимальной размерности. При этом переменные $\mathfrak{A}^n(I)$ определяются как неизвестные переменные этой системы, значения которых могут быть получены при ее разрешении. Другими словами, определение состава переменных $\mathfrak{A}^n(I)$ не требует решения специальной задачи и может быть произведено на основе формирования $\Phi^n(I)$. Проверка условий (2) при известных K, Z и $\mathfrak{A}^n(I)$, очевидно, не представляет сложностей.

Рассмотрим теперь возможные случаи и причины некорректности задачи $\mathcal{V}$.

Пусть $\Phi^n(I) = \emptyset$. Тогда можно утверждать, что источником некорректности является неполнота компонент X, Y , а возможные варианты исправления такого рода некорректностей связаны с дополнением компонент X, Y вербального описания задачи таким образом, чтобы вновь получаемый состав этих компонент обеспечивал возможность формирования из отношений M_2 замкнутой системы уравнений.

Второй случай некорректности вербальных описаний задач оптимизации определяется комбинацией условий: $\Phi^n(I) \neq \emptyset$ (соответственно $\mathfrak{A}^n(I) \neq \emptyset$) и $K \notin \mathfrak{A}^n(I)$. Тогда принципиально возможны два вида вариантов исправления некорректностей. Первый из них, практически менее значимый, связан со сменой критерия таким образом, чтобы вновь назначаемый критерий содержался в $\mathfrak{A}^n(I)$. Другие варианты связаны с расширением Φ^n , что возможно лишь при расширении состава компонент X, Y .

Третий случай определяется условиями $\Phi^n(I) \neq \emptyset$ и $Z \notin \mathfrak{A}^n(I)$. Он фактически означает, что сформулированная задача оптимизации $\mathcal{V}$ может быть решена. Однако ограничения $Z \setminus \mathfrak{A}^n(I)$ не оказывают влияния на результаты ее решения и должны быть выведены из первоначально заданного описания $\mathcal{V}$.

Таким образом, проверка первого из названных условий корректности задачи $\mathcal{V}$ на базе информации, содержащейся в модели M_2 может полностью основываться на проведении формальной операции формирования замкнутых систем уравнений максимальной

размерности из отношений, содержащихся в M_2 , при известных значениях переменных модели, соответствующих X, Y .

При этом возможные случаи некорректностей связаны, в основном, с неполнотой присутствующих в $\mathcal{V}$ компонент X, Y , а их исправление либо носит тривиальный характер, либо связано с выделением таких переменных модели, задав значения которых, можно сформировать из отношений M_2 замкнутую систему уравнений, содержащую критерий K в числе ее неизвестных переменных.

Рассмотрим теперь некорректности, связанные с взаимозависимостью компонент составного вектора $\{X, Y\}$ и отражающие тот факт, что в процессе оптимизации можно управлять только независимыми ограничениями. Несложно заметить, что если принять компоненты $\{X, Y\}$ за известные величины, то среди них имеются взаимозависимые тогда и только тогда, когда на базе отношений модели M_2 можно построить переопределенную систему уравнений.

Если при известных X, Y окажется, что переопределенная система отношений существует, то степень ее переопределенности, т.е. разность между числом ее отношений и числом присутствующих в них неизвестных, определяет число взаимозависимых переменных, которые должны быть выведены из описания решаемой задачи оптимизации. Конкретные сочетания такого рода компонент определяют возможные варианты корректировки исходного описания $\mathcal{V}$.

И наконец, рассмотрим некорректности в задаваемых описаниях задач оптимизации, связанные с противоречивостью множеств значений варьируемых (D_Y) и ограниченных (D_Z) параметров. При этом будем полагать, что некорректности, связанные с нарушением условий (1), (2) и с взаимозависимостью компонент вектора $\{X, Y\}$, устранены. Тогда существует замкнутая система уравнений $\Phi^n(I)$, в число неизвестных переменных $\mathfrak{x}^n(I)$ входит Z , а в число известных переменных - X, Y . Это фактически означает возможность отображения X, Y в Z , которое реализуется через посредство отношений модели M_2 , а именно, части отношений, составляющих $\Phi^n(I)$ при $I = \{X, Y\}$. Будем считать, что данное отображение реализуется некоторым оператором

$$R_{Y-Z} = \{R_{Y-Z}^t\}(t=1,2,\dots,N_Z), \text{ где } R_{Y-Z}^t: \{X, Y\} \Rightarrow Z_t.$$

С учетом сказанного проверку рассматриваемого условия можно выполнять по следующей методике. На первом этапе решается совокупность задач вида:

$$Z_t^B = \max_{Y \in D_Y} R_{Y-Z}^t(X, Y) (t = 1, 2, \dots, N_Z),$$

$$Z_t^H = \min_{Y \in D_Y} R_{Y-Z}^t(X, Y) (t = 1, 2, \dots, N_Z).$$

В результате может быть сформировано множество

$D_{ZY} = \prod_{t=1}^{N_Z} [Z_t^H, Z_t^B]$, соответствующее D_Y . Далее, на втором этапе проверяется, является ли множество $D_Z \cap D_{ZY}$ непустым. Если это так, то задача является корректной. В противном случае она нуждается в изменении границ соответствующих компонент множества D_Y или D_Z .

Таким образом, в основе проверки в САПР АКТ корректности вербального описания задач оптимизации с точки зрения непротиворечивости множеств D_Y и D_Z лежит решение ряда вспомогательных задач безусловной оптимизации. Каждая из этих задач может быть решена на основе тех же средств, что и основная (исходная) задача оптимизации.

Список литературы

1. Смирнов О.Л., Падалко С.Н., Пиявский С.А. САПР: формирование и функционирование проектных модулей. М.: Машиностроение, 1987.
2. Падалко С.Н. Определение тандемной модели как базовой формы представления многоуровневых математических моделей при проектировании аэрокосмической техники, Электронный журнал «Труды МАИ», Выпуск №71
3. Бродский А.В. Автоматизация решения задач оптимизации при проектировании аэрокосмической техники, Электронный журнал «Труды МАИ», Выпуск №71

05.07.05

Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пермский национальный исследовательский политехнический университет" (ПНИПУ),

Центр высокопроизводительных вычислительных систем, Пермь,
liliya.butymova@yahoo.com, modorsky@pstu.ru, ar.shmakov@gmail.com

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА АМПЛИТУДНЫХ И ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТОКА И КОНСТРУКЦИИ

В работе представлены результаты физического эксперимента на модельной установке. В ходе физического эксперимента определены амплитуды вынужденных колебаний и углы сдвига фаз при взаимодействии газодинамических процессов и конструкций из различных материалов. Произведена оценка влияния колебаний газового потока на перемещения оболочки в радиальном направлении.

Ключевые слова: *физический эксперимент, модельная установка, сдвиг фаз, амплитудные характеристики.*

Исследовалось влияние колебаний газового потока на амплитуды перемещений оболочки в радиальном направлении, а также проводилась оценка сдвига фазы колебаний перемещений в конструкции относительно колебаний давления газодинамического потока, соответствующего резонансному совпадению частот. Были исследованы конструкции из трех материалов: меди, латуни и алюминия. Геометрические характеристики рабочей камеры для всех трех оболочек были одинаковыми: длина – 1000 мм, толщина – 1 мм [1-4].

На рисунке 1 показаны зависимости от времени перемещений и давлений от времени, в случае резонанса в системе «газ-оболочка из алюминия».

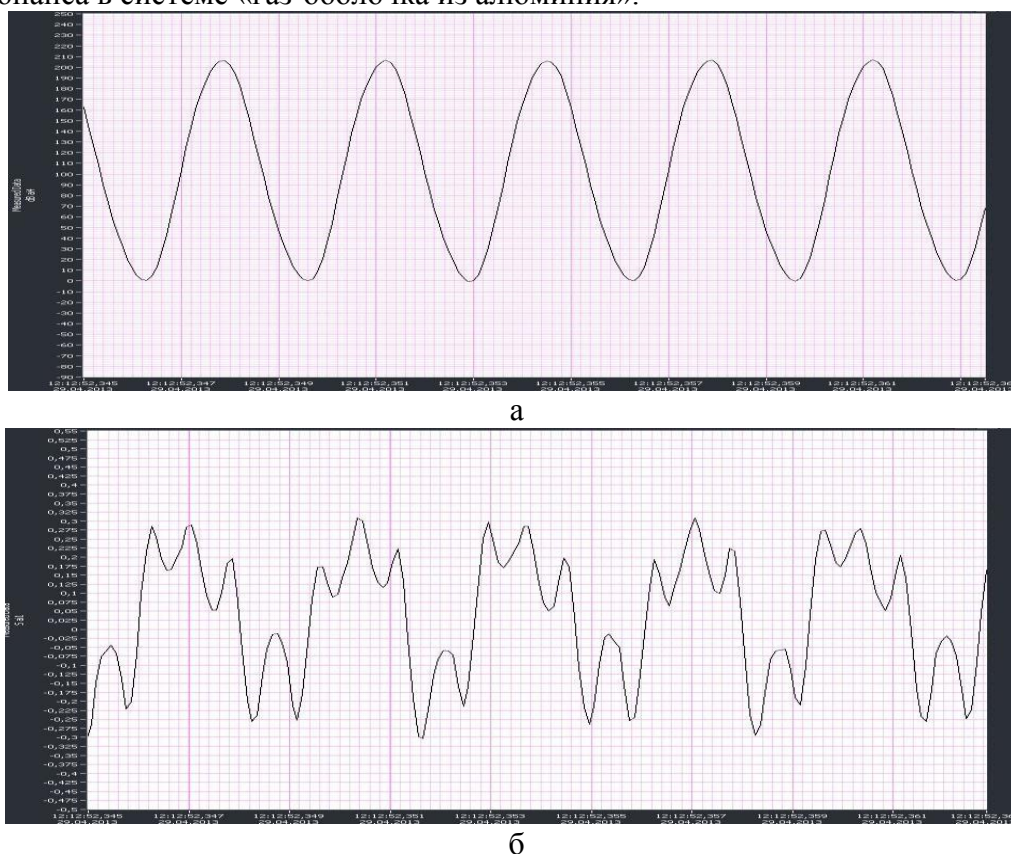


Рис.1 – Зависимости от времени: а – давления; б – перемещений в оболочке из алюминия

На рисунке 2 показаны зависимости от времени перемещений и давлений от времени, в случае резонанса в системе «газ-оболочка из меди».

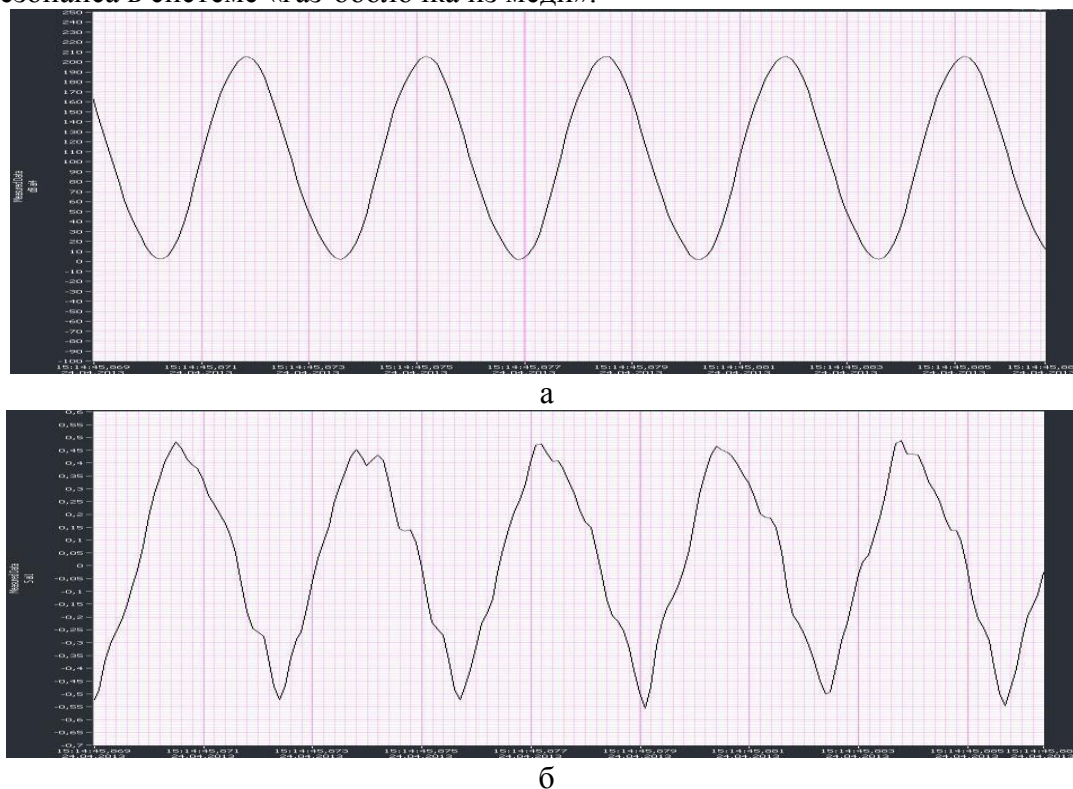


Рис.2 – Зависимости от времени: а – давления; б – перемещений в оболочке из меди

На рисунке 3 показаны зависимости от времени перемещений и давлений от времени, в случае резонанса в системе «газ-оболочка из латуни».

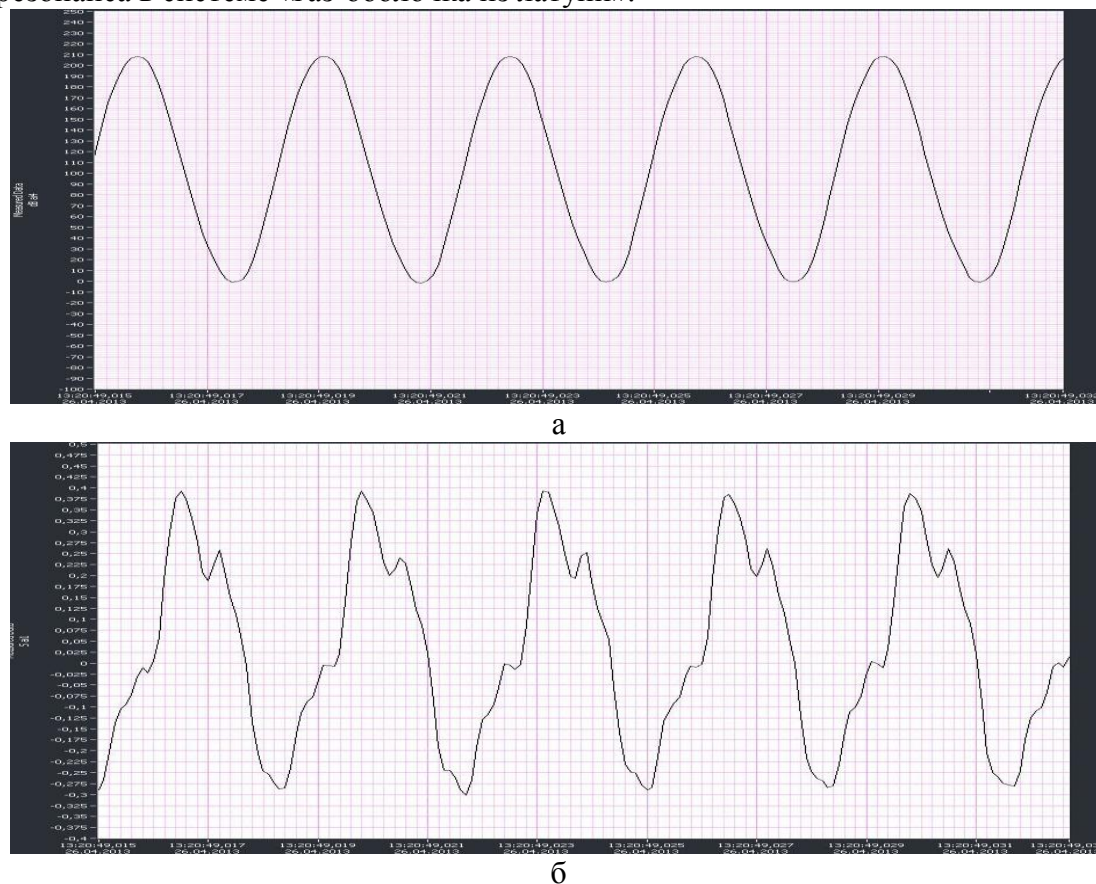


Рис.3 – Зависимости от времени: а – давления; б – перемещений в оболочке из латуни

Полученные результаты представлены в сводной таблице 1.

Таблица 1. Результаты эксперимента

Материал	E, ГПа	ρ , кг/м ³	E/ρ , МДж/кг	f, Гц	φ , рад	A _u , мкм
Медь	110	8920	12,3	$f_{\Gamma}=f_K=301,88$	$-\pi/2$	0,47
Латунь	95	8300	11,4	$f_{\Gamma}=308$ ($f_K=298$)	$\pi/2$	0,39
Алюминий	70	2700	25,9	$f_{\Gamma}=f_K=302$	$-\pi/2$	0,3

Видно, что для рассмотренных конструкций, выполненных из различных материалов (медь, алюминий и латунь) наблюдается сдвиг фаз колебаний давления относительно радиальных колебаний оболочки при одинаковых частотах. Информация получена с датчика, расположенного по середине образующей оболочки. Видно, что сдвиг фаз равен $\pm \pi/2$.

Видно, что максимальную удельную жесткость имеет оболочка, выполненная из алюминия, что соответствует минимальным значениям перемещений оболочки. Для данной оболочки наблюдается резонансное взаимодействие газа и конструкции. Минимальную удельную жесткость имеет оболочка, выполненная из латуни, при этом максимальные значения перемещений наблюдаются в медной оболочке. Значения амплитуд давлений для всех трех оболочек имеют примерно одинаковые значения.

Эксперименты показали, что в газовой полости формируется стоячая волна, соответствующая низшей моде колебаний рабочей камеры, а в конструкции реализуется множество мод, низшая из которых соответствует стоячей волне в газе. Обнаружен сдвиг фаз между колебаниями давления относительно радиальных колебаний оболочки равный $\pm \pi/2$. Для повышения точности измерений требуется уточнить план вычислительных экспериментов и проводить замеры с мелким шагом в области резонанса [5].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00877).

Список литературы

1. Бутымова Л.Н. Исследование колебательных процессов на резонансных режимах в модельной установке / Бутымова Л.Н., Модорский В.Я. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №6 – С. 193-196
2. Бутымова Л.Н. Исследование колебательных процессов на резонансных режимах в модельной установке / Бутымова Л.Н., Модорский В.Я., Ю.В. Соколкин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №6 – С. 197-200
3. Бутымова Л.Н. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния активной заглушки резонатора / Бульбович Р.В., Бутымова Л.Н., Зимин Д.В., Модорский В.Я., Писарев П.В. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – №1 – С. 95-100
4. Бутымова Л.Н. Исследование газодинамического потока и конструкции в модельной экспериментальной установке / Бутымова Л.Н., Модорский В.Я. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Вычислительная математика и информатика». 2014. Т. 3, № 2. С. 92-100.
5. Модорский В.Я., Соколкин Ю.В. Газоупругие процессы в энергетических установках. – М. Наука, 2007 – 176 с.

05.07.01

Л.В. Быков, П.В. Никитин, О.А. Пашков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
«МАИ», bykov@mai.ru

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕРАВНОМЕРНОГО СНОСЯЩЕГО ПОТОКА С КОНСТРУКЦИЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты 12-08-00145-а, 13-08-01328

В работе представлена методика численного моделирования взаимодействия дирижабля, совершающего равномерное прямолинейное движение, с атмосферным порывом. Проведен предварительный анализ влияния исходных параметров на результаты моделирования. Сформулирована постановка задачи и определены граничные условия.

Ключевые слова: *дирижабль, атмосферный порыв; численное моделирование; динамическая сетка; аэродинамические характеристики; вихревая структура.*

В настоящее время в России и во многих других странах мира ведутся большие научные и проектные изыскания в области аппаратов, использующих для полёта аэростатическую подъёмную силу. В классе таких летательных аппаратов (ЛА) наибольшее распространение получили дирижабли [1], которые обладают большими размерами и относительно небольшими скоростями движения, а следовательно, они в значительной степени подвержены воздействию порывов ветра, что может привести к ухудшению его аэродинамических характеристик, и как следствие, управляемости. При этом изгибающие моменты и перерезывающие силы, возникающие на оболочке дирижабля, могут привести к её разрушению [2].

В данной работе решалась задача исследования особенностей обтекания и определения аэродинамические характеристики дирижабля с удлинением корпуса $\lambda \approx 4.0$ при его взаимодействии с атмосферным порывом ветра.

Численное моделирование обтекания и расчет аэродинамических характеристик проводились при скорости движения дирижабля $V = 18.056$ м/с. Скорость атмосферного порыва и его форма определялась нормами лётной годности дирижаблей. Рассматривался атмосферный порыв синусоидальной формы, шириной 80 метров, что составляет две длины корпуса дирижабля, и максимальную скорость $U_m = 10.67$ м/с.

Исследовалось обтекание изолированного корпуса дирижабля с круговой формой поперечного сечения, а также двух оперённых корпусов, геометрия которых представлена на рис. 1.

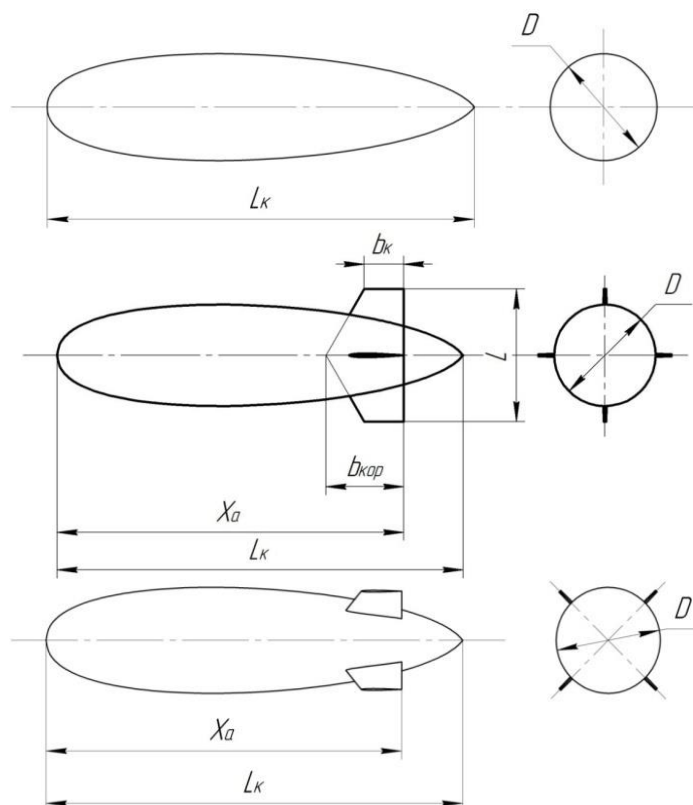


Рис. 1- Геометрия исследованных ЛА

Порыв моделировался как плоская струя, инжектируемая в затопленное пространство. Решались дискретные аналоги стационарных уравнений Навье-Стокса на нерегулярных расчётных сетках. Метод осреднения уравнений Навье-Стокса использовался совместно с моделью турбулентности Спаларта-Аламараса [8].

Для коррекции давления-скорости применён метод SIMPLEC, который показывает лучшую сходимость, чем другие методы. Эта проблема обусловлена отсутствием в уравнениях Навье-Стокса независимого уравнения для вычисления давления. Кроме этого, уравнение неразрывности не имеет доминирующей переменной в течении несжимаемой среды.

При моделировании изолированного порыва необходимо обеспечить выполнение условий, описанных в нормах лётной годности, то есть поток должен быть невозмущённым вне порыва ветра и должен иметь заданный профиль скорости внутри порыва.

В ходе предварительного анализа было установлено, что по краям инжектируемой струи образуются паразитные вихри, характерные для инъекции в ограниченное пространство. Для устранения замеченных нежелательных эффектов была разработана система граничных условий с дополнительным отсосом массы газа из расчётной области (рис.2).

При выборе траектории движения дирижабля через поперечный порыв следует учитывать два явления. С одной стороны, при удалении от места инъекции струя диссипирует (расширяется зона смешения, уменьшается скорость в ядре струи). В то же время практика показывает, что если в дозвуковом потоке расстояние от исследуемого тела до границы расчётной области меньше или примерно равно длине этого тела, то это приводит к искажению поля течения вблизи тела при моделировании. Учитывая перечисленные выше факторы, в качестве траектории движения дирижабля была выбрана линия на удалении $2.5L_k$ от среза сопла.

В пространстве, окружающем порыв, скорость V_y отличалась от нуля не более чем на 0.126 м/с или 1.2% от скорости инъекции.

На рисунке 3 показан профиль V_x вдоль выбранной траектории в сравнении с эталоном по нормам лётной годности. Видно, что скорость V_x отличается от нуля не более чем на 0.17 м/с или 1.6% от скорости инъекции.

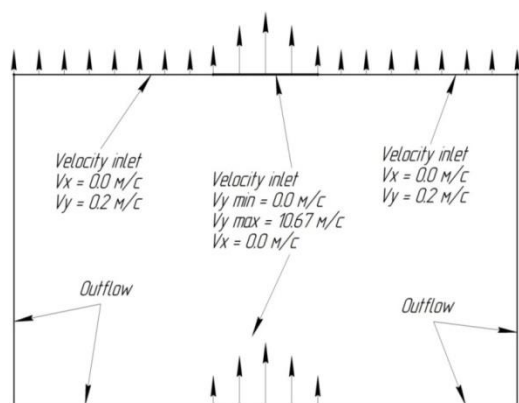


Рис. 2- Граничные условия в плоскости ОХУ

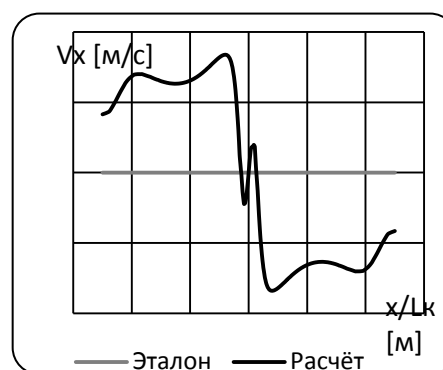


Рис. 3- Профиль скорости V_x вдоль траектории движения дирижабля

При моделировании движения дирижабля через порыв ветра было сделано два допущения:

1. Порыв ветра не изменяет направление и скорость дирижабля, то есть движение остаётся равномерным и прямолинейным.
2. Дирижабль является абсолютно твёрдым телом.

Для решения задачи был применён метод динамических сеток. Движение дирижабля описывается пользовательской функцией, подключаемой к решателю, которая описывает равномерное прямолинейное движение дирижабля вдоль оси ОХ.

Для моделирования взаимодействия изолированного корпуса дирижабля с порывом ветра строится трёхмерная комбинированная расчётная сетка. За основной критерий качества сетки выбирается локальное число Рейнольдса. При движении дирижабля вне порыва локальное число Рейнольдса находилось в диапазоне $30 \leq y^+ \leq 115$ на 95% поверхности дирижабля.

Для корректной работы модели турбулентности Спаларта-Алмараса требуется, чтобы параметр y^+ имел значение порядка 30 и более. В то же время при значениях $y^+ > 200$ пограничный слой не может быть корректно смоделирован, что неизбежно приводит к ошибке при расчете аэродинамических коэффициентов, прежде всего c_x .

Корпус дирижабля представлял собой аэродинамически гладкую твёрдую стенку, то есть выполнялось условие прилипания.

Учитывая особенности, связанные с применением метода динамических сеток для решения данной задачи в двухмерной постановке, был выбран шаг по времени 0.025 секунды. При этом максимальная скошенность ячеек в области динамической сетки не превышала 0.8.

Для моделирования взаимодействия оперённого корпуса дирижабля с атмосферным порывом использованы две трёхмерные комбинированные сетки (для схемы «+» и для схемы «х»).

Следует отметить, что в целом не было принципиальных отличий между моделированием движения изолированного и оперённого корпусов.

Выводы

По итогам проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проведенные предварительные исследования позволили получить зависимости суммарных и распределённых аэродинамических характеристик от времени, а также картины обтекания изолированного и оперённого корпусов.

2. Разработана методика моделирования изолированного атмосферного порыва; определены минимально необходимые размеры счётной области, а также система граничных условий, позволяющая получить вблизи порыва максимально возможную равномерность полей скоростей и давлений и сохраняющая форму порыва на всей протяжённости расчётной области.

3. Разработана технология моделирования взаимодействия дирижабля с атмосферными порывами; определены требуемая в расчётах область перемещения дирижабля по счётной области, а также принцип изменения временных интервалов при проведении расчётов.

Список использованных источников

1. Щербаков Ю.В. Аэродинамика корпусов дирижаблей. М.: Изд-во Русское Воздухоплавательное общество, 1999. 47 с.
2. Семенчиков Н.В., Чжоу Цзяньхуа, Яковлевский О.В. Силы и моменты, действующие на оперенный корпус дирижабля с гондолой в неравномерном потоке // Научный Вестник МГТУ ГА. Аэромеханика и прочность. 2009. № 138(1). С. 57- 62.
3. Семенчиков Н.В., Чжоу Цзяньхуа, Яковлевский О.В. Аэродинамические характеристики корпуса дирижабля в неравномерном потоке // Полет. 2009. №4. С. 51-60.
4. Чжоу Цзяньхуа, Семенчиков Н.В. Моделирование поперечного обтекания тела вращения неравномерным потоком воздуха // Сборник докладов Восьмого форума Российского Вертолетного Общества. М., 2008. С. IV-15- IV-22.
5. Чжоу Цзяньхуа Разработка методики определения аэродинамических характеристик дирижаблей в неравномерном потоке вязкого газа. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, МГТУ им. Баумана, 2009 г. 200 с.
6. Фомина Н.Н. Атлас форм корпусов дирижаблей // Труды ЦАГИ. 1935. Вып. 238. 70 с.
7. Кирилин А.Н. Малоразмерные дирижабли. Конструкция и эксплуатация. М.: Изд-во МАИ, 2003. 116 с.
8. Spalart P., Allmaras S. A one-equation turbulence model for aerodynamic flows // AIAA-Paper 92-0439, 1992, p.1-21.

05.07.01

Л.В. Быков, О.А. Пашков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
«МАИ», bykov@mai.ru

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С НЕСУЩИМ ФЮЗЕЛЯЖЕМ

В работе описана постановка задачи взаимодействия летательного аппарата с набегающим потоком воздуха на примере самолета с несущим фюзеляжем. В основу рассматриваемой модели положены исследования эллиптических крыльев малого удлинения. Условия обтекания описаны осреднённой по Рейнольдсу системой уравнений Навье-Стокса. Получены суммарные и распределённые аэродинамические характеристики изолированного корпуса.

Ключевые слова: *самолет, несущий корпус, численное моделирование, уравнения Навье-Стокса, безотрывное обтекание, вихревая структура.*

В настоящее время подавляющее большинство летательных аппаратов выполнено по классической схеме. Однако часто перед инженерами стоит проблема создания таких летательных аппаратов, которые могли бы осуществлять устойчивый полёт на больших углах атаки, обладали бы хорошими показателями маневренности и управляемости, а также высоким коэффициентом весовой отдачи в сочетании с выгодными массогабаритными характеристиками. И в первую очередь эти требования актуальны для малогабаритных беспилотных аппаратов. Следует отметить, что такие требования сложно выполнить в рамках традиционной аэродинамической компоновки. Одним из способов решения этой проблемы является создание летательных аппаратов с несущим фюзеляжем.

В основу представленной научно-исследовательской работы положены исследования эллиптических крыльев малого удлинения [1]. Целью данной работы являлось создание методики определения оптимальных геометрических параметров базовой конфигурации ЛА с несущим корпусом и основных аэродинамических характеристик такой конфигурации с помощью численных исследований.

Для отработки методики на первом этапе моделировались суммарные и распределённые аэродинамические характеристики изолированного корпуса на режимах взлёта и посадки (малые дозвуковые скорости и широкий диапазон углов атаки). Изолированный корпус представлял собой эллиптическое крыло сверхмалого удлинения (Рис. 1).

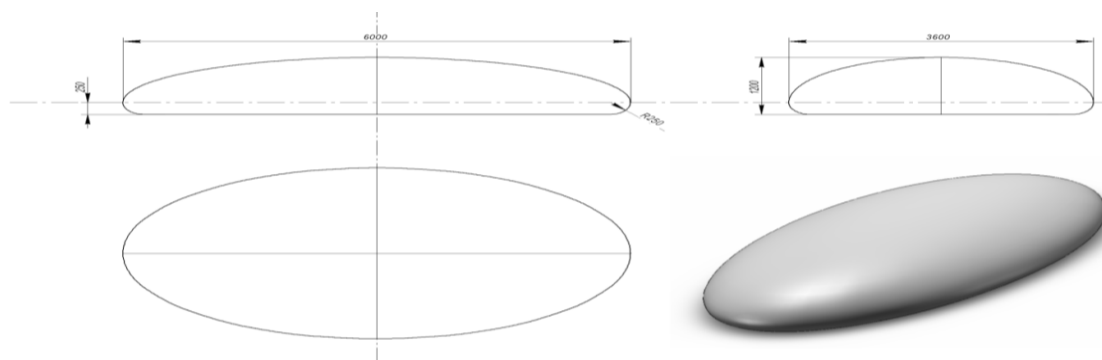


Рис. 1- Геометрия изолированного корпуса.

Для решения поставленной задачи использовался программный комплекс ANSYS FLUENT, предназначенный для моделирования сложных течений жидкостей и газов с

широким диапазоном свойств. Параметры численного эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры численного эксперимента

Длина модели [м]	6.0
Площадь модели [м ²]	16.9646
Скорость потока [м/с]	55.556
Давление [Па]	101325
Плотность [кг/м ³]	1.225
Скоростной напор [кг/м*с ²]	1890.462
Число Рейнольдса	3.7*10 ⁶

Обтекание твёрдого тела потоком воздуха описывается осреднённой по Рейнольдсу системой уравнений Навье-Стокса, которая в данной работе решена в стационарном виде [2, 3]. Применена модель вязкой несжимаемой среды, поскольку сжимаемость на малых скоростях практически не проявляется. В этом случае уравнение энергии не решалось. Характерным критерием подобия в данной работе являлось число Рейнольдса, которое характеризует отношение сил инерции, действующих в потоке, к силам вязкости.

Система уравнений Навье-Стокса замыкалась моделью турбулентности Спаларта-Алмараса. Эта модель турбулентности использует одно дополнительное уравнение переноса турбулентной вязкости. При этом нет необходимости вычислять длину пути смешения, связанную с локальной толщиной слоя. Изначально модель Спаларта-Алмараса рассматривалась как модель турбулентности для потоков с низким числом Рейнольдса. Это условие требует хорошего сеточного разрешения в области пограничного слоя [4, 5].

С помощью сеточного генератора ANSYS ICEM CFD построена трёхмерная блочно-структурированная расчётная сетка. С учетом симметрии расчетная область выбрана для одной половины тела и разбита на 5 блоков. В данной работе использована сетка, состоящая из шестигранных элементов (призм). Такую сетку легко деформировать для рассмотрения различных градиентов в разных направлениях. Изначально предполагалось, что градиенты нормальные к поверхности тела будут намного больше градиентов в тангенциальном направлении, за исключением областей вблизи боковых кромок. Поэтому, в поперечном направлении сетка имеет сгущение к поверхности тела (ячейки вблизи тела имеют большее отношение длины к высоте). Сгущения сетки в продольном направлении проводились к передней, задней и боковым кромкам.

При решении задачи обтекания принципиальное значение имеет качество моделирования пограничного слоя, где расчётная сетка характеризуется параметром y^+ , который является локальным числом Рейнольдса и может быть записан следующим образом:

$$y^+ = \frac{y}{\mu} \sqrt{\rho \tau_w}$$

где y – расстояние от стенки до середины ячейки, μ – молекулярная вязкость, ρ – плотность воздуха, τ_w – касательное напряжение у стенки.

В качестве граничных условий на внешней границе расчётной области была использована модель **velocity inlet**, в которой задается скорость потока в виде трёх компонент и параметры турбулентности. При использовании модели турбулентности Спаларта-Алмараса, достаточно задать относительную турбулентную вязкость: $\beta = 10$. На корпусе самолета задавалось граничное условие **wall**, а на внутренней границе полусферы условие симметрии (**symmetry**).

Скорость сходимости расчёта для стационарных течений зависит, в основном, от значения параметров нижней релаксации, используемых в уравнении количества движения. Известно, что сходимость может быть улучшена, если находить давление по следующей формуле:

$$p^m = p^{m-1} + \alpha_p p'$$

Аналогично могут быть описаны параметры нижней релаксации и для других величин. Оптимальная связь между параметрами выглядит следующим образом:

$$\alpha_p = 1 - \alpha_u$$

В данной работе значения всех факторов нижней релаксации были выбраны равными 0,5.

Было замечено, что решение имеет неодинаковую сходимость на малых и больших углах атаки. Если на малых углах атаки решение сходится достаточно быстро и хорошо, то с увеличением угла атаки сходимость ухудшается. При $\alpha > 15^\circ$ решение не сходится точнее определенного порога даже при увеличении числа итераций. При этом суммарные аэродинамические характеристики также сохраняют колебания в пределах $\pm 3^\circ$. Это происходит по причине образования нестационарных вихревых структур на корпусе самолёта. То есть полученное нами стационарное решение является осреднением по времени некоего нестационарного процесса возникновения, накопления и схода с тела вихревых структур [2, 3].

В ходе установочных расчётов были получены суммарные и распределённые аэродинамические характеристики изолированного корпуса, которые предполагается использовать при проведении дальнейшего моделирования.

Установлено, что главной особенностью обтекания изолированного корпуса является интенсивное перетекание потока через боковые кромки тела, что характерно для эллиптических крыльев малого удлинения. Особенно сильно этот эффект проявляется на больших углах атаки. При этом образуются два вихря большой интенсивности, которые разгоняют поток, индуцируя дополнительную скорость вблизи верхней поверхности корпуса, что приводит к дополнительному приросту подъемной силы. Кроме того данный эффект препятствует отрыву потока и коэффициент подъёмной силы монотонно возрастает до $\alpha = 35^\circ$. Таким образом, летательный аппарат с несущим фюзеляжем обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными аэродинамическими схемами.

Список использованных источников

1. Матвеев А.М., Волчков О.Д., Зотов А.А. Транспортные самолеты с аэродинамически несущим корпусом // Полет 2008. №8, С.85-89.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука. 1969. 741с.
3. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа изд. Дрофа. 2003. 840с.
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учеб. Пособие для вузов. М.: Наука. 1989. 432с.
5. Бычков И.М. Курс лекций по дисциплине Основы численного моделирования в аэрогидромеханике Москва 2010. 111с.

05.11.16

А.М. Васильев, Г.В. Лунина, И.И. Прокуратов, А.Н. Федотов

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
факультет приборостроения и радиоэлектроники,
кафедра приборов и информационно-измерительных систем,
Москва, amvrf@yandex.com

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

В статье рассмотрены вопросы определения надежности электропривода с асинхронным электродвигателем, определены факторы, влияющие на нее. Показано, что основным направлением для повышения надежности автоматизированного электропривода с асинхронным двигателем является исключение возможности возникновения сквозных токов силовых транзисторов инвертора и снижения напряжения, подаваемого на силовые транзисторы. Предложена структура электропривода с повышенной надежностью.

Ключевые слова: электропривод, асинхронный электродвигатель, надежность.

Современный электропривод (ЭП) широко применяется в промышленности в промышленных роботах, металлорежущих станках, лазерных технологических установках [1]. Особенно популярен в последнее время ввиду своей надежности и низкой стоимости ЭП с асинхронным электродвигателем (АД). На рис. 1 приведена обобщенная структурная схема ЭП с АД.

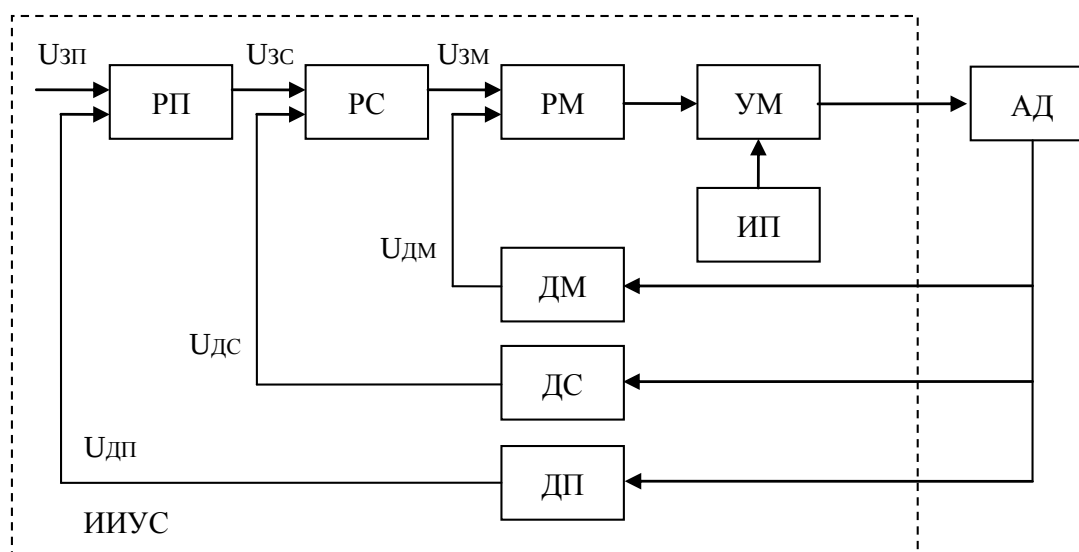


Рисунок 1 - Обобщенная структурная схема ИИУС ЭП с АД

Приняты следующие обозначения: АД - асинхронный двигатель,

РП - регулятор положения, РС - регулятор скорости, РМ - регулятор момента, ДМ - датчик момента, ДС - датчик скорости, ДП - датчик положения, УМ - усилитель мощности, ИП - источник питания.

АД является одним из самых надежных звеньев ЭП, который в целом относится к надежным системам, за исключением УМ, состоящего из силовых ключей (транзисторов), выполняющих роль коммутаторов питания статорных обмоток АД.

С целью определения надежности разных способов реализации силовой части (усилителя мощности) электропривода, рассмотрим три схемы включения (рис. 2 - 6) [2].

На рис. 2 приведена классическая схема силовой части электропривода с шестью ключами для управления трехфазным асинхронным электродвигателем.

Схема является надежной за счет своей простоты, однако имеет ряд серьезных недостатков:

- для коммутации требуется высокое напряжение питания;
- имеется возможность возникновения сквозных токов открытых силовых транзисторов;
- сложность согласования фазных токов.

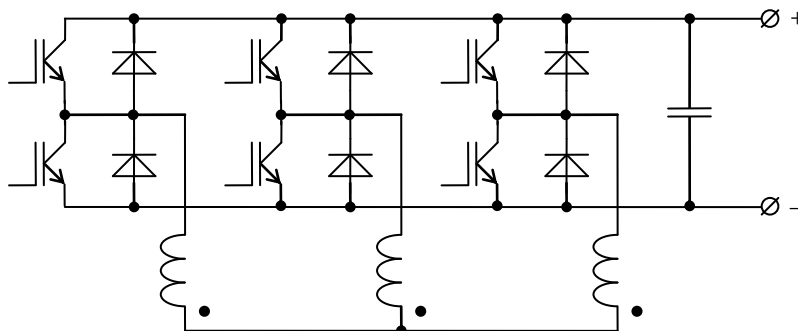


Рисунок 2 - Классическая схема силовой части регулируемого электропривода с асинхронным двигателем

На рис. 3 приведена схема силовой части электропривода для управления трехфазным асинхронным электродвигателем, имеющая двенадцать полупроводниковых ключей [3].

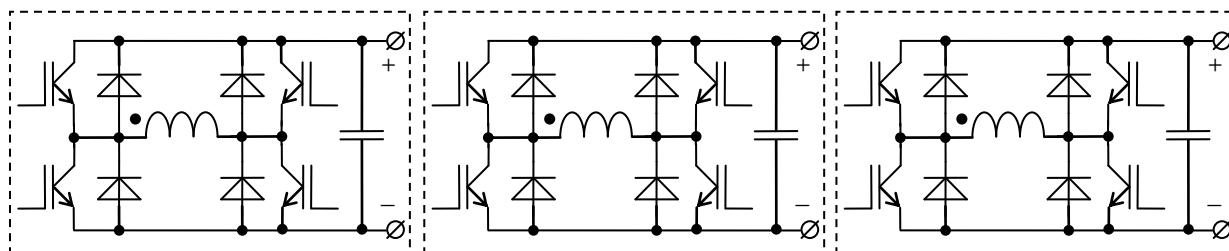


Рисунок 3 - Схема силовой части регулируемого электропривода с двенадцатью ключами

За счет использования независимых мостов для каждой обмотки асинхронного трехфазного электродвигателя данная схема не требует дополнительных согласований фазных токов. Большое количество силовых ключей и имеющаяся возможность возникновения «сквозных» токов являются основными недостатками данной реализации.

На рис. 4 приведена схема силовой части электропривода с шестью ключами и двуполярным питанием. Схема похожа на схему, приведенную на рис. 3 недостатки аналогичны:

- высокое двуполярное напряжение питания;
- возможность возникновения сквозных токов открытых силовых транзисторов.

Существующее множество способов реализации усилителя мощности ЭП, позволяющих повысить качество питающего статорные обмотки тока, а также надежность, например, за счет использования быстродействующих контуров защиты, однако не исключает физическую возможность возникновения сквозных токов через силовые ключи, а значит не дает 100% гарантии защиты силового блока (инвертора) ЭП от выхода из строя.

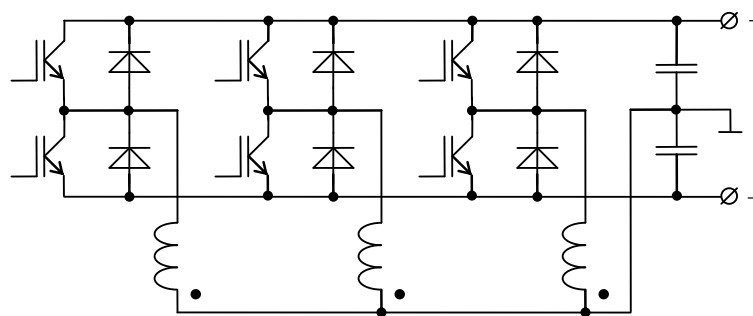


Рисунок 4 - Схема силовой части электропривода с шестью ключами и двуполярным питанием

Основным направлением работы является повышение надежности автоматизированного ЭП с асинхронным двигателем за счет исключения возможности возникновения сквозных токов силовых транзисторов инвертора и снижения напряжения, подаваемого на силовые транзисторы.

В основе метода повышения надежности ИИУС автоматизированного ЭП с АД лежит структура, позволяющая повысить надежность усилителя мощности за счет исключения возможности возникновения сквозных токов его открытых транзисторов при отсутствии необходимости использования быстродействующих систем защиты, а также без добавления резервирующих управляющих и питающих блоков.

Предлагаемая структура усилителя мощности ИИУС регулируемого ЭП имеет шесть полупроводниковых ключей, соединенных с питающей сетью постоянного тока и предназначенных для соединения со статорными обмотками нестандартного трехфазного шестиобмоточного АД (рис. 5).

Нестандартный трехфазный шестиобмоточный АД имеет три пары одинаковых статорных обмоток (А, В, С), причем коллекторы нечетных транзисторов подключены ко входам статорных обмоток нестандартного трехфазного шестиобмоточного АД, а коллекторы четных транзисторов - к выходам (на рис. 5 обозначены символом «•»). Эмиттеры транзисторов объединены в общую точку и подключены к минусу питающей сети постоянного тока (- $U_{пит}$). Выходы нечетных и входы четных обмоток нестандартного трехфазного шестиобмоточного АД подключены к плюсу питающей сети постоянного тока (+ $U_{пит}$).

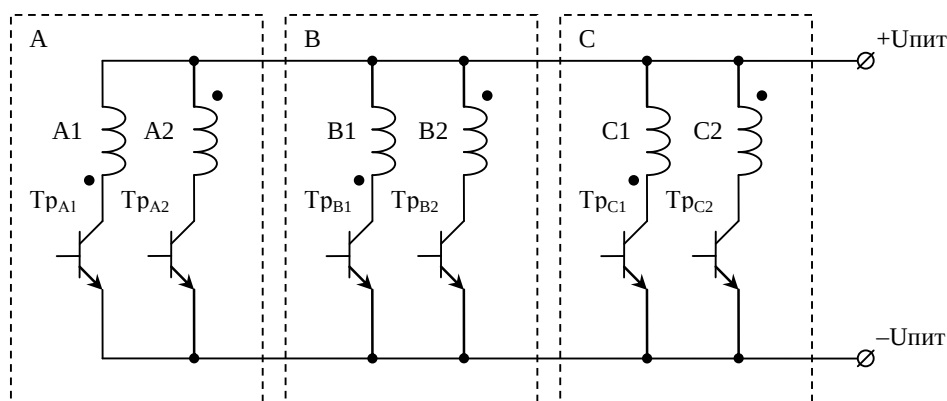


Рисунок 5 - Структурная схема усилителя мощности ЭП повышенной надежности с асинхронным двигателем

Управление транзисторами осуществляется таким образом, чтобы обеспечить подачу на соответствующие статорные обмотки соответствующего однополупериодного синусоидального напряжения. Формы питающего напряжения статорных обмоток нестандартного трехфазного шестиобмоточного АД приведены на рис. 6.

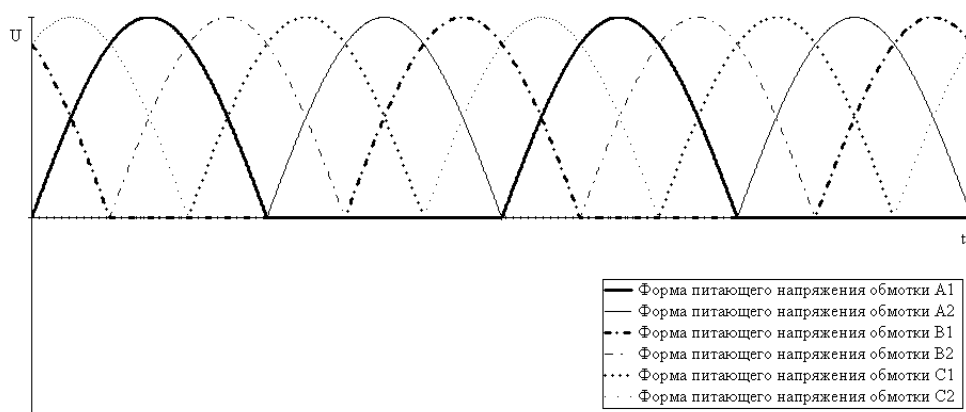


Рисунок 6 - Формы питающего напряжения статорных обмоток нестандартного трехфазного шестиобмоточного АД

Формы питающего напряжения, приведенные на рис. 6, эквивалентны виду питающего напряжения, получаемому при использовании классической схемы включения стандартного АД. Предложенная схема очень проста, обладает высокой надежностью.

На рис. 7 представлены осциллограммы входного сигнала на входе ЭП (2 – сигнал типа «меандр») и с тахогенератора (1).

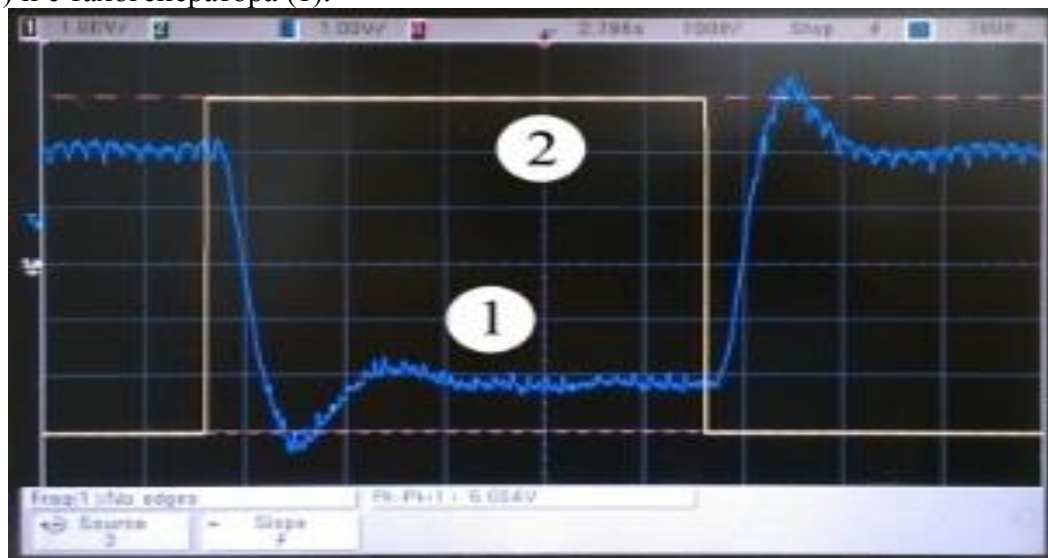


Рисунок 7 - Осциллограммы переходных процессов

Видно, что электропривод обладает хорошими характеристиками – время разгона до частоты вращения до 1000 об/мин составляет 0,1 с при перерегулировании около 50%.

Список литературы

1. Автоматизированный электропривод. / По ред. Н.Ф.Ильинского, М.Г. Юнькова. – М. : Энергоатомиздат, 1990. - 544 с.
2. Справочник по автоматизированному электроприводу. / Под. ред. В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. – М. : Энергоатомиздат, 1983.-616 с.
3. Слепцов В.В., Строганов Д.А. Повышение надежности регулируемого электропривода (практическая реализация). Приборы. 2013. № 9 – М. : Подольская Периодика, 2013. – с. 46-51.

05.18.00

Н.П. Васина

Астраханский государственный технический университет, Институт Нефти и газа,
кафедра «Технологические машины и оборудование»,
Астрахань, zolinatashka@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ КАПСУЛИРОВАННЫХ ФОРМ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

В работе представлены результаты изучения кинетики сушки защитного покрытия капсулированных форм лекарственных препаратов на основе шеллака. Получены расчетные зависимости скорости удаления растворителя от влияющих факторов для возможного их использования в инженерных расчетах при проектировании сушилок. Проведен анализ кривых скорости сушки, сделаны выводы о механизме переноса растворителя.

Ключевые слова: *теплообмен, сушка, полимерная пленка, оболочка.*

Целью покрытия оболочками лекарственных форм является: 1) защита содержимого таблетки от неблагоприятных внешних воздействий; 2) улучшение вкуса (сокрытие неприятного вкуса лекарственных веществ); 3) придание таблеткам презентабельного внешнего вида (выравнивание неровностей поверхности, цвет); 4) обеспечение воздействия лекарственных веществ вне зоны желудка (кишечные таблетки).

Процесс нанесения защитного покрытия на поверхность капсул состоит из следующих стадий:

- 1) Псевдооживление слоя капсул.
- 2) Распыление композиции для получения защитного покрытия в псевдооживленный слой капсул.
- 3) Формирование слоя защитного покрытия на поверхности капсул.
- 4) Сушка слоя защитного покрытия.

Для корректного физико-математического моделирования вышеуказанных процессов и установления математических функциональных зависимостей, описывающих протекающие процессы необходимо проведение комплекса экспериментально-аналитических исследований каждого из этапов.

Для того чтобы изучить физические механизмы, которые обуславливают внутренний массоперенос, нужно определить его закономерности при обезвоживании, путем исследований кинетики процесса сушки [1, 6, 7, 8].

Методы описания кинетики процесса сушки можно классифицировать следующим образом [9]:

- 1) теоретические (аналитические и численные), с основе которых положено решение дифференциальных уравнений теплообмена;
- 2) полуэмпирические - в основе которых лежит решение системы уравнений теплообмена при использовании методов обобщения и упрощений, свойственных, к примеру, теории физического подобия и т.п.;
- 3) эмпирические.

Сложность решения дифференциальных уравнений теплообмена (в виду их нелинейности) приводит к целесообразности использования различных эмпирических и полуэмпирических методов, широко представленных в работах ряда исследователей [5, 6, 12, 11, 14].

Общеизвестно, что основные полуэмпирические методы можно разделить по следующим признакам [8, 9]:

- аппроксимации подвергается рассредоточение влагосодержание по всему объему тела [13];
- аппроксимации подвергается кривая скорости сушки;
- решается система дифференциальных уравнений тепломассопереноса численными методами [5].

Эмпирические функции могут быть использованы для приведения системы дифференциальных уравнений тепломассопереноса к уравнению массопроводности и построению на его основе математического описания процесса сушки [8], или к решению задач кинетики сушки на основе уравнения теплопроводности [3, 4]. Максимальный эффект использования методов кинетического расчета с помощью экспериментальных кривых сушки достигается в случае их получения для малого объема аппарата. Справедливое значение для всего аппарата определяется путем последующего присоединения уравнений материального и теплового баланса к микрокинетическому уравнению. В данном случае имеется возможность обоснования решения задачи масштабирования - перехода от результатов лабораторных исследований к промышленным аппаратам.

Исследование кинетики конвективной сушки покрытия капсул проводилось на экспериментальной установке (рис. 1).

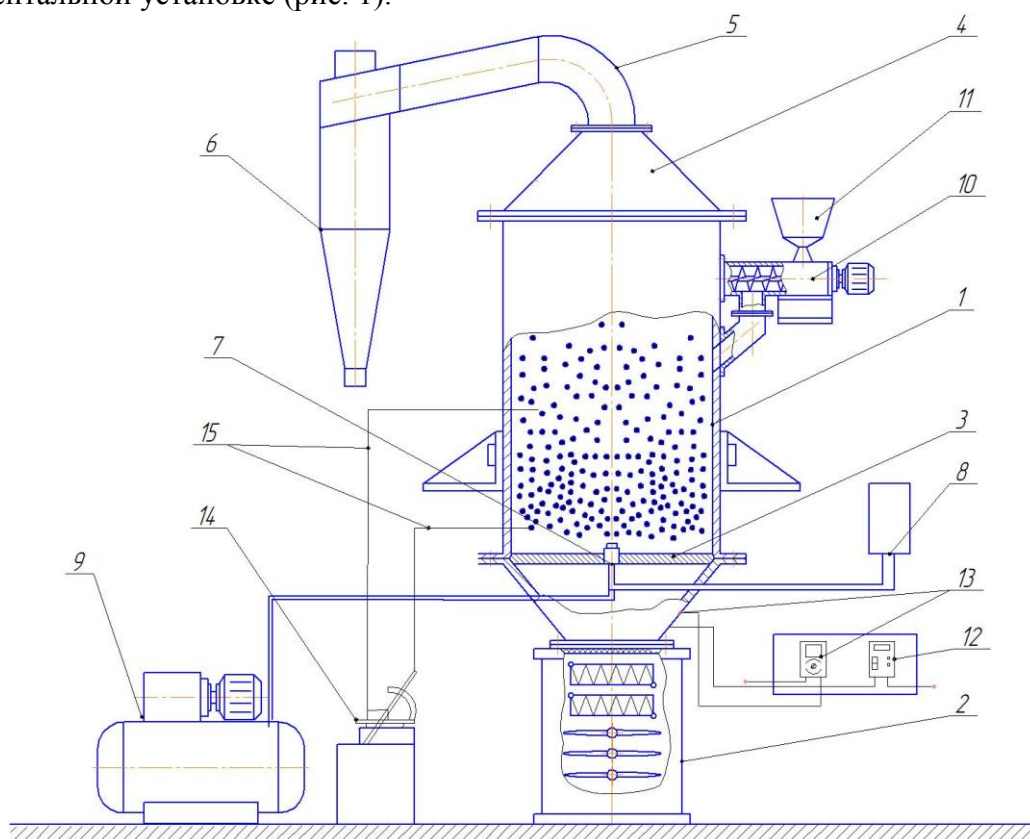


Рис.1- Схема экспериментальной установки для нанесения защитного покрытия на основе шеллака на капсулированные формы: 1-рабочая камера; 2-электрокалорифер; 3- газораспределительная решетка; 4- газоход для отвода псевдоожижающего агента; 5- трубопровод для отвода псевдоожижающего агента; 6-циклон; 7- распылительное устройство; 8- трубопровод для подачи композиции; 9-компрессор; 10- шнековый дозатор; 11- бункер для подачи нативных капсулированных форм; 12- анемометр DT 318; 13- мультиметр с термопарой «медь-константан»; 14- микроманометр марки ММН -240; 15- пьезометрические трубки

Аппарат имеет вертикальную рабочую камеру 1 в форме полого цилиндра, электрокалорифер 2 для подачи и подогрева псевдоожижающего агента, газораспределительную решетку 3 выполненную в форме диска, газоход для отвода псевдоожижающего агента 4, выполненный в виде полого усеченного конуса, большее основание которого соосно совмещено с верхним основанием рабочей камеры 1, а малое основание соединено через трубопровод 5 с циклоном 6, распылительное устройство 7 для диспергирования композиции для получения пленочного покрытия, подаваемого через

трубопровод 8, которая распыляется под давлением воздуха нагнетаемого компрессором 9, шнековый дозатор 10 с бункером 11 для загрузки нативных гранулированных, капсулированных, таблетированных форм.

Устройство работает следующим образом. Из бункера 11 посредством шнекового дозатора 10 в рабочую камеру 1 аппарата подаётся требуемое количество нативных форм. Далее посредством электрокалорифера 2 в рабочую камеру 1 подается псевдоожижающий агент, например, воздух и происходит процесс псевдоожижения нативных форм. Скорость ожижающего агента определялась анемометром 12 (марка DT 318) посредством гибкого измерительного зонта, установленного в рабочей камере 1. Температуру ожижающего агента контролировали по показаниям мультиметра 13 с помощью термопары «медь-константан», установленной, в рабочей камере 1. Микроманометром 14 (марка ММН – 240) измерялся перепад давления в кипящем слое продукта.

Нанесение покрытия осуществляется распылительным устройством 7 посредством диспергирования оболочки в кипящий слой форм. После окончания процесса диспергирования с помощью электрокалорифера увеличивается температура сушильного агента и реализуется процесс сушки. После завершения процесса сушки увеличивается скорость псевдоожижающего агента в электрокалорифере 2 для обеспечения пневмотранспорта покрытых оболочкой форм через трубопровод 5 в циклон 6, где за счет возникающей центробежной силы происходит отделение готового продукта от отработавшего псевдоожижающего агента, направленного на регенерацию.

В ходе экспериментов при различных температурных режимах исследуемый образец периодически извлекался из сушильной камеры, посредством специального пробоотборника, изготовленного из металлической мягкой сетки и взвешивался при помощи аналитических весов Adventurer OHAUS AR3130, (2 класс точности по ГОСТ 24104-88).

Экспериментальное изучение кинетики сушки защитной оболочки капсулированных форм в кипящем слое проводилось по полному многоуровневому многофакторному плану с помощью вероятностно-статистических методов планирования и обработки экспериментальных данных. Анализ литературы [2, 5, 9] и эксперименты выявили, что основными факторами, оказывающими влияние на интенсивность тепломассообмена в процессе конвективной сушки в псевдоожиженном слое являются: начальная влажность продукта w_n (кг/кг), температура T (К) и скорость V (м/с) сушильного агента.

Выявлено, что оптимальными значениями указанных параметров являются:

- начальное содержание растворителя в композиции для получения защитной оболочки $w_n=50\%$
- скорость потока сушильного агента $V=5.5$ м/с.
- температура сушильного агента $T=323$ К.

В ходе комплекса предварительных экспериментальных исследований и на основе анализа инженерного опыта [10] установлено, что на завершающей стадии нанесения покрытия для его эффективного высушивания и увеличения общей производительности процесса для сушки покрытия целесообразно увеличить температуру теплоносителя.

Диапазон варьирования температуры теплоносителя $T_{с.а.}=303..343$ К. Верхний предел $T_{с.а.}=343$ К установлен на основании анализа качественных характеристик получаемых покрытий. При превышении температуры наблюдались эффекты стеклования и частичного термического разложения слоя покрытия, что недопустимо.

Значения текущего содержания растворителя в покрытии w , кг/кг рассчитывались по формуле:

$$w = \frac{m_i - m_n \cdot (1 - w_n)}{m_i} \quad (1),$$

где m_n – начальная масса образца продукта, кг; m_i – текущая масса продукта, кг; w_n – начальное содержание растворителя, кг/кг.

Экспериментальные данные и результаты их статистической обработки представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1- Результаты экспериментальных исследований кинетики сушки защитной оболочки капсулированных форм в псевдооживленном слое при $T=303K$, $V=5.5$ м/с

τ , с	w_1 , кг/кг	w_2 , кг/кг	w_3 , кг/кг	$\bar{w}$, кг/кг	S_n , кг/кг	$S\bar{n}$, кг/кг	Δw , кг/кг	ε_w , %
0	0,240	0,250	0,260	0,250	0,010	0,006	0,025	9,930
10	0,193	0,190	0,193	0,192	0,002	0,001	0,004	2,239
20	0,092	0,098	0,095	0,095	0,003	0,002	0,007	7,839
30	0,046	0,042	0,044	0,044	0,002	0,001	0,005	11,284
40	0,024	0,026	0,025	0,025	0,001	0,001	0,002	9,930
50	0,012	0,010	0,011	0,011	0,001	0,001	0,002	22,569

Таблица 2- Результаты эксперимента по изучению кинетики сушки защитной оболочки капсулированных форм в псевдооживленном слое при $T=323K$, $V=5.5$ м/с

τ , с	w_1 , кг/кг	w_2 , кг/кг	w_3 , кг/кг	$\bar{w}$, кг/кг	S_n , кг/кг	$S\bar{n}$, кг/кг	Δw , кг/кг	ε_w , %
0	0,270	0,240	0,240	0,250	0,017	0,010	0,043	17,200
10	0,214	0,210	0,212	0,212	0,002	0,001	0,005	2,342
20	0,165	0,163	0,167	0,165	0,002	0,001	0,005	3,009
30	0,096	0,098	0,100	0,098	0,002	0,001	0,005	5,066
40	0,042	0,046	0,044	0,044	0,002	0,001	0,005	11,284
50	0,026	0,022	0,024	0,024	0,002	0,001	0,005	20,688
60	0,012	0,012	0,012	0,012	0,001	0,0001	0,005	5,473

Таблица 3- Результаты эксперимента по изучению кинетики сушки защитной оболочки капсулированных форм в псевдооживленном слое при $T=343K$, $V=5.5$ м/с

τ , с	w_1 , кг/кг	w_2 , кг/кг	w_3 , кг/кг	$\bar{w}$, кг/кг	S_n , кг/кг	$S\bar{n}$, кг/кг	Δw , кг/кг	ε_w , %
0	0,230	0,250	0,270	0,250	0,020	0,012	0,049	19,860
10	0,211	0,214	0,211	0,212	0,002	0,001	0,0043	2,028
20	0,163	0,165	0,167	0,165	0,002	0,001	0,0049	3,009
30	0,111	0,112	0,113	0,112	0,001	0,001	0,002	2,217
40	0,073	0,07	0,073	0,072	0,002	0,001	0,004	5,972
50	0,043	0,046	0,043	0,044	0,002	0,001	0,004	9,772
60	0,026	0,023	0,023	0,024	0,002	0,001	0,004	17,917
70	0,015	0,014	0,016	0,015	0,001	0,001	0,002	16,550

Получены зависимости содержания спирта в композиции w , кг/кг от времени сушки τ , с на основе аппроксимации экспериментальных данных, представленных точками на рис. 2 и в таблицах 1-3. Результатом математической обработки кривых сушки явились аппроксимирующие функции содержания растворителя от времени $w = f(\tau)$, погрешность аппроксимации не превышала $R^2=0,9999$.

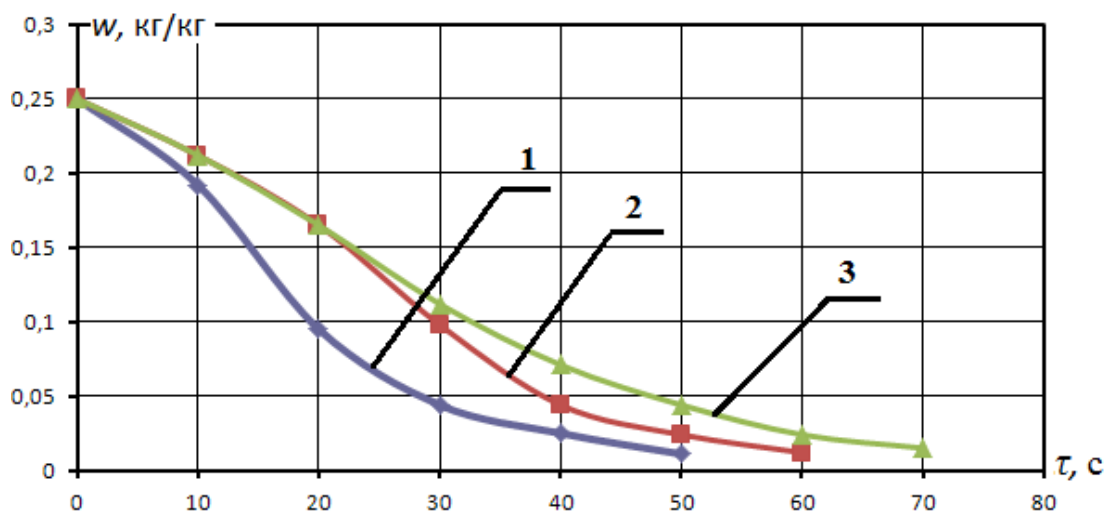


Рис. 2- Экспериментальные кривые сушки защитной оболочки на основе шеллака при 1- $T=343\text{K}$, 2- $T=323\text{K}$, 3- $T=303\text{K}$

Кривые сушки отображают зависимость содержания растворителя w от времени обезвоживания и позволяют получить кривые скорости сушки.

Анализ данных эксперимента по кинетике сушки. Механизм тепломассопереноса.

Для математического описания кинетики процесса сушки защитного покрытия на основе шеллака по экспериментальным данным (таблицы 1-3) были получены аппроксимирующие функциональные зависимости скорости сушки защитной оболочки (учитывая, что $w = 1 - C$):

$$\frac{dC}{d\tau}(C, T) = - \left[\begin{aligned} &3 \cdot (0,38737646 \cdot T^2 - 270,66693952 \cdot T + 37677,83761041) \cdot (1 - C)^2 + \\ &+ 2 \cdot (0,60455028 \cdot T^2 - 382,55912015 \cdot T + 64522,29569798) \cdot (1 - C) + \\ &+ (-0,19129404 \cdot T^2 + 125,13695448 \cdot T - 21151,00690709) \end{aligned} \right]^{-1} \quad (2)$$

На рис. 3 представлены кривые скорости сушки защитной оболочки при различной температуре сушильного агента, полученные дифференцированием уравнений кривых обезвоживания.

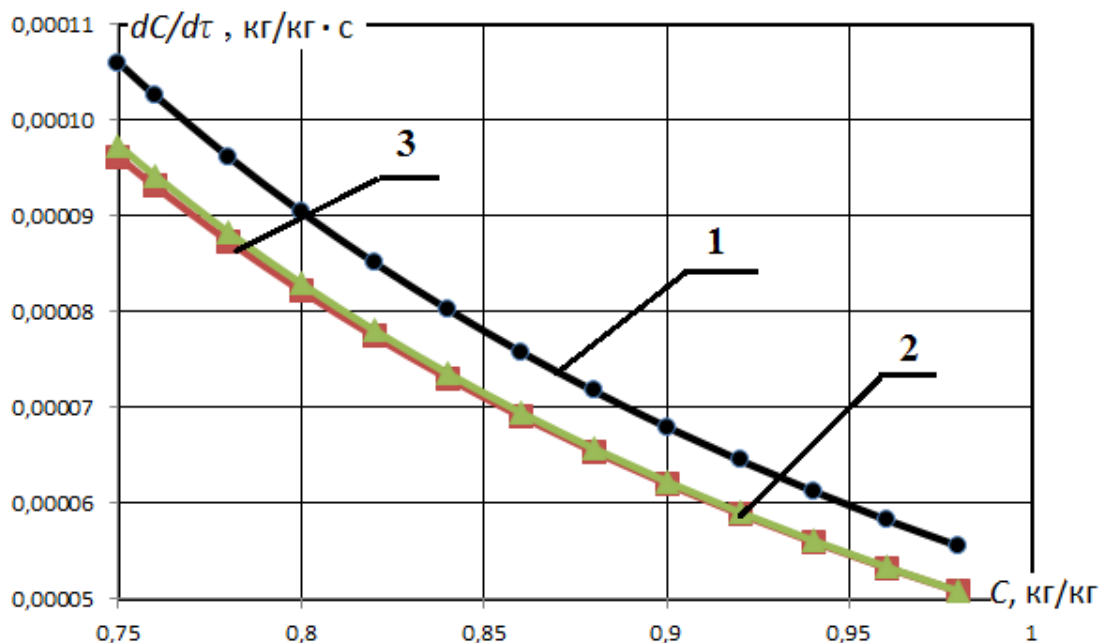


Рис. 3- Кривые скорости сушки защитной оболочки при $T=303\text{K}$, 323K , 343K

Проведя анализ кривых скорости сушки, можно сделать выводы о механизме переноса растворителя [1, 5, 6].

Исследуемая защитная оболочка относится к полимерным пленкам. Сушка полимерной оболочки состоит из жидкостной диффузии (перенос растворителя в самом полимере), газовой диффузии и фазового превращения первого рода, т.е. перехода растворителя из жидкого состояния в пар.

Первый период сушки характеризуется высоким содержанием растворителя в полимерной пленке и большими скоростями его жидкостной диффузии. По мере подсыхания покрытия диффузия растворителя в полимере снижается, что в свою очередь снижает скорость сушки.

В процессе сушки происходит формирование надмолекулярной структуры полимера, и, следовательно, физико-механических свойств покрытий. В начальной стадии формирования пленки происходит удаление растворителя и образование локальных связей между структурными элементами полимера. В этот период происходит фиксирование надмолекулярной структуры, созданной в дисперсном состоянии композиции до начала процесса формирования пленки. Последующая стадия высыхания пленки характеризуется перегруппировкой структурных элементов.

Список литературы

1. *Алексаян И.Ю.* Развитие научных основ процессов высокоинтенсивной сушки продуктов животного и растительного происхождения : автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.18.12. М.: МГУПБ, 2001. 52 с.
2. *Грэм С. Маклауд* Современные решения по нанесению покрытий на таблетки/ Медицинский бизнес. Фармтехнологии, №6-7 (84-85), 2001.
3. *Лебедев, П.Д.* Расчет и проектирование сушильных установок [Текст] / П.Д. Лебедев. - М.: Госэнергоиздат, 1963. 320 с.
4. *Лебедев, П.Д.* Высокотемпературная сушка материалов под действием внутреннего градиента давлений пара [Текст] / П.Д. Лебедев // Труды МЭИ. - 1958. – вып.30. - С. 169-178.
5. *Лыков, А.В.* Теория сушки [Текст] / А.В. Лыков. - М.: Энергия, 1968. - 471 с.
6. *Лыков, А.В.* Тепломассобмен [Текст] / А.В. Лыков. - М.: Энергия, 1978. - 478 с.
7. *Максименко Ю.А.* Совершенствование тепломассообменных процессов при сушке кормовых дрожжей в диспергированном состоянии : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2005. 21 с.
8. *Рудобаишта С.П.* Исследование кинетики процесса конвективной сушки с учетом массопроводности : дисс. ... канд. техн. наук. М.: МИХМ, 1967. 136 с.
9. *Рудобаишта С.П.* Математическое моделирование процесса сушки дисперсных материалов // Известия Академии наук. Энергетика. 2000. № 4. С. 98-109.
10. *Флисюк Е.В.* Исследование нанесения пленочных покрытий на таблетки в аппаратах барабанного типа - «coater». Хим.-фарм. журнал, т.38,2004,№10,с.67-69
11. *El-Bedawey, A.* Effect of supplementation with fish protein concentrate on protein and amino acid content of salt biscuit [Text] / A. El-Bedawey, EL-F. Zein G.N., El-Shevbiniy. - «Kahring», 1986. 308, №1, p.19-24.
12. *Lefroy, G.A.* The mechanics of spouted beds [Text] / G.A. Lefroy, I.F. Davidson // Trans Inst. Chem. Eng. – 1969. - V. 47, № 5.- P. 120.
13. *Lewis W.* Ind. Eng. Chem. 1921. V. 13. №5. 494 p.
14. *Newmann, A.B.* [Text] Chem. Mit. Eng. 1931. V. 38. P. 12.

05.13.06

Ю.Д. Волков, А.В. Дудин

Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева,
институт механики и энергетики, кафедра электрификации и автоматизации производства,
Саранск, volkov57@rambler.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ЭНЕРГОЗАТРАТАМ В УСЛОВИЯХ ВЕРОЯТНОСТНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В статье рассмотрена задача оптимизации эксперимента в автономных энергосистемах. В основу положена модель эксперимента в виде вероятностного пространства. Введен показатель энергетической цены эксперимента. Оптимизация на вероятностном графе пространства состояний дает реальный выигрыш в объеме перебора и снижает энергозатраты.

Ключевые слова: задача эксперимента, вероятностная неопределенность, модель, пространство состояний, энергетическая цена, оптимизация.

Автономные электроэнергетические установки относятся к сложным искусственным человеко-машинным системам, основной функцией которых является бесперебойное снабжение энергией потребителей. В связи с размещением на автономных объектах вычислительного, навигационного, радиолокационного и другого современного оборудования резко возрастают требования к обеспечению высокой надежности, живучести и качеству электроэнергии автономных электроэнергетических систем (АВЭС) при сокращении энергопотерь.

Эти обстоятельства вынуждают проводить специальные комплексные исследования по улучшению электромагнитной совместимости автономной сети, преобразователей электроэнергии и бортового вычислительного оборудования, разработке точных методов оценки мощности и энергии в динамических режимах. Особо подчеркнем вероятностный характер изучаемых процессов и сложность пространства состояний решаемой задачи. Поэтому, одной из проблем на ранних стадиях эксперимента является целенаправленное управление в условиях неопределенности, которая связана в частности с неточностью измерений [1] и случайным характером процессов в АВЭС.

При построении стратегии управления экспериментом приходится решать противоречие между качеством решения задачи (точность и достоверность решения) и стоимостной эффективностью (количество ресурсов, затраченное на поиск решения). Можно выделить две формы задачи оптимизации. Во-первых, это максимизация достоверности и точности эксперимента при ограничении энергоресурса, соответственно и времени эксперимента. Во-вторых, это минимизация энергоресурса и времени при заданной величине достоверности и точности эксперимента. Алгоритм управления должен обеспечивать наиболее выгодный компромисс между качеством решения и стоимостной эффективностью со следующими ограничениями: $t_j \in [0, T]$, $E_j \leq E_{\max}$, $q_j \in Q$, $j \in \{1, h\}$, где t_j , E_j - время и энергозатраты q_j - эксперимента.

Сформулируем критерии, которыми будет руководствоваться система управления в процессе решения задачи активного эксперимента. Предварительно напомним некоторые результаты, полученные в [2], а также уточним исходные понятия.

Постановка задачи. Эксперимент интерпретируется как процесс поиска решения проблемы. Возможно, что нам априори известны вероятности гипотез $P(\varepsilon_k)$ из ранее набранной статистики.

Задача 1. Пусть относительно объекта исследований выдвинута полная группа из n -попарно несовместных гипотез ε_k с вероятностями $P(\varepsilon_k)$, причем
$$\sum_k P(\varepsilon_k) = 1, \quad k \in \{1, \dots, n\} \quad (1)$$

Также определено множество допустимых экспериментов $Q = \{q_1 \dots q_n\}$ по верификации этих гипотез и

соответствующие стоимости их проведения $C = \{c_1 \dots c_n\}$. Требуется оптимизировать процесс экспериментального подтверждения одной из гипотез ε_k .

Знание $P(\varepsilon_k)$ позволяет произвести целенаправленный эксперимент и соответственно уменьшить его стоимость C .

Верификацию гипотез ε_k можно вести согласно вероятностной модели активного эксперимента [2], которая имеет вид

$$G = \{(S, \Sigma, P), \langle F, \circ \rangle, C_F\} \quad (2)$$

где (S, Σ, P) – вероятностное пространство, сконструированное следующим образом.

Поставим k -ой гипотезе в соответствие упорядоченную последовательность $(0_1, 0_2, \dots, 1_k, \dots, 0_n)$ пространства $E^n = \underbrace{E_2 \times E_2 \times \dots \times E_2}_{n\text{-раз}}, E_2 = \{0, 1\}$. Тогда $S_0 = ((1_1, 1_2, \dots, 1_n), E^n)$

отражает исходную неопределенность в виде полной группы гипотез $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_n$ и E^n , как возможное поле действия эксперимента. Принимаем S_0 за начальное состояние процесса исследований. Состоянию S_j поставим в соответствие вершину n -мерного куба E^n и грань булева куба, которой соответствует набор $(a_1, \dots, a_n) \in E^n$, $a_k = 0$ при отбрасывании гипотезы, $a_k = 1$ – в противном. Конечное состояние представлено одним из наборов:

(e_k, e_k) , где $e_k = (0_1, 0_2, \dots, 1_k, \dots, 0_n)$ – "1" на k -месте, соответствует принятию ε_k и отклонению других гипотез, поэтому (e_k, e_k) обозначим просто e_k ;

$(0, 0)$, где $0 = (0, 0, \dots, 0)$ – набор соответствует случаю, когда ни одна из гипотез не подтвердилась. При правильной постановке задачи этого быть не должно.

В результате получим пространство состояний $S \subset E^n \times B(E^n)$, как подмножество множества всех пар вершин и подпространств в E^n .

Эксперимент связан с подачей управляющих воздействий $\hat{X}_i$ на экспериментальную установку, измерением параметров $\hat{Y}_j$ и результатом первичной обработки информации W_k . Эта совокупность "атомарных" действий конечная, будем считать ее элементарным экспериментом

$$q_j = [X_i \times Y_j \times W_k], i \in \{1, \dots, m\}, j \in \{0, \dots, h\}, k \in \{1, \dots, n\}.$$

Последовательное выполнение экспериментов $Q = q_0, q_1, \dots, q_h$ интерпретируется как композиция $\circ$ отображений $f_j : S_j \rightarrow S_{j+1}$. Таким образом, получена алгебраическая система $F = \langle \{f_j\}, \circ \rangle$ со свойствами замкнутости, ассоциативности, идемпотентности, необратимости. Система F действует в (S, Σ, P) с соответствующей σ -алгеброй Σ . Выбор возможной последовательности будем оценивать функцией качества $C_F : F \rightarrow \mathfrak{R}$, а конкретного отображения, как $C(f_j) = c_j$.

Сконструированное пространство позволяет задачи, решаемые в ходе эксперимента, отнести к классу комбинаторных. Действительно, так как Q конечно, то можно осуществить прямой перебор всех возможных последовательностей, приводящих к $e_k = f_{i_j}(\dots(f_{i_1}(f_{i_0}(S_0))))$. Однако, при решении сложных поисковых задач применение методов полного перебора не приемлемо. Возникает вопрос оптимизации эксперимента. В рамках модели (2) сформулируем оптимизационную задачу эксперимента

$$C(f_{i_0}) * C(f_{i_1}) * \dots * C(f_{i_j}) \rightarrow \text{Max}(\text{Min}), j \in \{0, \dots, h\}, \quad (3)$$

где "*" – символ операции мультипликативной либо аддитивной C_F .

Целью этапа планирования является поиск оптимального по затратам поддереву в графе

пространства состояний S , содержащего начальную вершину S_0 , некоторое подмножество промежуточных вершин $\{S_k^j\}$ и конечные вершины e_k . В общем за оценку потерь принимаем математическое ожидание потерь, которое представляет собой сумму затрат по всем путям от j -го корня граф-дерева к каждой из конечных вершин e_k , умноженных на вероятность $P\{e_k\}$

$$C = M\{C_j\} = \sum_k P\{e_k\} * c(q_j), \quad k=1, n. \quad (4)$$

Так как решение задач активного эксперимента в энергосистемах неразрывно связано с преобразованием и передачей энергии при проведении эксперимента, стоимостную эффективность эксперимента будем характеризовать таким показателем как *энергетическая цена* E_j , которая учитывает полную мощность экспериментальной установки N и временные затраты на j -м этапе эксперимента $E_j = \int_0^T N_j \cdot dt, \quad T_{\min} \leq T \leq T_{\max}$.

Оценку энергозатрат для j -ой вершины графа пространства состояний обозначим через $E(S_j)$ и разложим на составляющие

$$E(S_j) = Eg_j + M\{Eh_j\} - \sigma(Eh_j), \quad (5)$$

где Eg_j - энергозатраты на реализацию последовательности экспериментов Q_{j-1} от вершины s_0 до вершины S_j ; $M\{Eh_j\}$ - математическое ожидание, а $\sigma^2(Eh_j)$ - дисперсия оценки будущих затрат на реализацию пути от S_j до $\{e_k\}$. Оценку будущих затрат будем производить с использованием априорной информации, либо с помощью методов экспертных оценок. Функция E монотонна, так как из $S_{j+1} \subseteq S_j$ следует $E(S_{j+1}) \geq E(S_j)$. Процедура поиска с оценочной функцией (5) обладает свойствами алгоритма Харта, Нильсона и Рафаэля, причем объем перебора при поиске не более, чем в известных методах.

При расчетах воспользуемся рекуррентной формулой, которая получается из (5), если выделим слагаемое, содержащее первый q_j ,

$$E(S_j) = Eg_j + e(q_j) \sum_{e_k \in S_j} P\{e_k\} + \sum_r M\{Eh_j\} - \sigma(Eh_j) \quad (6)$$

Согласно соотношению оценка стоимостной эффективности выбираемого эксперимента q_j сводится к суммированию взвешенной энергетической цены этого эксперимента с оценкой энергозатрат всех r -исходов программы эксперимента. Фактически $E(S)$ дает оценку стоимости наиболее выгодного пути, связывающего начальную вершину S_0 с конечными e_k и проходящего через вершину S_j .

Вывод. Оптимизация эксперимента по энергозатратам на вероятностном графе S дает реальный выигрыш в объеме перебора по сравнению с тем же алгоритмом поиска, реализуемом без учета вероятностного фактора. Также не требуется предварительное определение всех состояний $S_j \in S$, так как выбор совокупности экспериментов Q_j идет от начального состояния S_0 к e_k . По ходу поиска определяются только те состояния, которые получаются при различных исходах реализуемых на данном этапе экспериментов, благодаря чему сокращается объем вычислений.

Список литературы

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First Edition. – ISO, Switzerland, 1993. – 101 p.
2. Волков Ю.Д., Кочугаев П.Н. Модели эксперимента в условиях неопределенности. «Научно-технический вестник Поволжья», №6, 2013, с.215-218.

05.23.02

В.В. Воронцов, В.П. Овчинников, А.В. Куликов

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно – строительный университет»,
строительный институт, кафедра строительных конструкций, г.Тюмень, pis3@tgasu.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАКРООБРАЗЦА ВОДОНАСЫЩЕННОГО ТОРФА С ИМИТАЦИЕЙ УДАЛЕНИЯ ОТ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В статье представлены результаты лабораторных исследований напряженно-деформированного состояния слабого водонасыщенного органо-минерального грунта, удаленного от дневной поверхности, в условиях компрессионного сжатия с двухсторонней фильтрацией поровой воды.

Ключевые слова: слабый органо-минеральный грунт, общее и избыточное поровое давление, макрообразец из торфа, компрессионное сжатие.

Обширные территории нашей страны по геологическому строению представлены торфяными грунтами с высоким уровнем грунтовых вод. В настоящее время по площади болот Россия занимает первое место в мире [7]. Для юга Тюменской области характерно распространение торфяных грунтов на более чем 15 % её территории.

Строительство инженерных сооружений на торфяных грунтах сопряжено с рядом сложностей, влекущих за собой усложнение конструктивных решений, и как следствие – удорожание. Для разработки эффективных конструкций фундаментов крайне важным является исследование напряженно-деформированного состояния и определение механических характеристик, наиболее адекватно отображающих работу водонасыщенного торфа, как основания для инженерных сооружений.

Важный вклад в изучение органо-минеральных грунтов внесли отечественные ученые. Значительный интерес представляют компрессионные испытания торфа, проведенные Л.С. Амаряном, результаты которых изложены в его монографиях [2,3]. Подробную классификацию болотных грунтов и способы проектирования линейных сооружений на торфяных болотах представили В.Д. Казарновский и И.Е. Евгеньев [5,6].

Проведение длительных компрессионных испытаний позволило Н.Н. Морарескулу определить коэффициент перехода K от относительных деформаций, полученных после суточных испытаний, к относительным деформациям, полученным по результатам длительных (двухлетних) испытаний [9].

Одним из основных методов строительства инженерных сооружений на заторфованных территориях является пригрузка их хорошо фильтрующим искусственным основанием из песка средней крупности, крупного или гравелистого. Во многих регионах запасы такого песка отсутствуют и могут быть использованы материалы с низкими фильтрующими способностями. П.А. Коноваловым и С.Я. Кушником была проведена серия крупномасштабных лабораторных опытов для изучения влияния фильтрационных свойств намывных грунтов на процесс консолидации торфяной толщи [8].

Для исследования напряженно-деформированного состояния и поровых давлений в образце водонасыщенного торфа в межкафедральной научной экспериментальной лаборатории ТюмГАСУ была собрана экспериментальная установка, общий вид которой показан на Рис. 1.

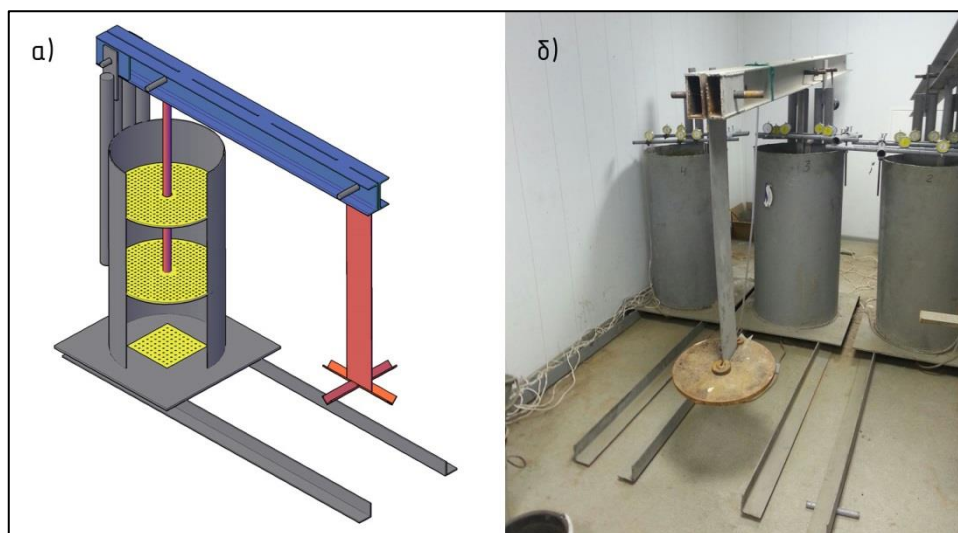


Рис. 1- Общий вид установки: а – 3d модель установки; б – экспериментальная установка

Экспериментальная установка представляет собой стальную трубу с жёсткими стенками, диаметр – 510 мм, высота – 1020 мм. Над испытуемым образцом водонасыщенного торфа высотой 400 мм устраивался массив из крупнозернистого песка, имитирующий вышележащие слои грунта. На дне лотка расположена перфорированная пластина для возможности дренирования воды в поддон, к которому подключен электронный манометр. Нагрузка на образец передаётся через круглый перфорированный штамп №1. Для совместной осадки и предотвращения зависания песка на стенках установки перфорированный штамп №2 погружен. Нагрузка передаётся через консольно-рычажную систему. На стенки трубы помещался слой легкодеформируемой полиэтиленовой пленки, в качестве смазки между ними использовался солидол. Пленка применялась для уменьшения сил трения, возникающих между грунтом и стенками установки (Рис. 2).

В процессе исследования консолидации образца измерялись: общие и избыточные поровые давления; перемещение штампов №1 и №2; температура в помещении.

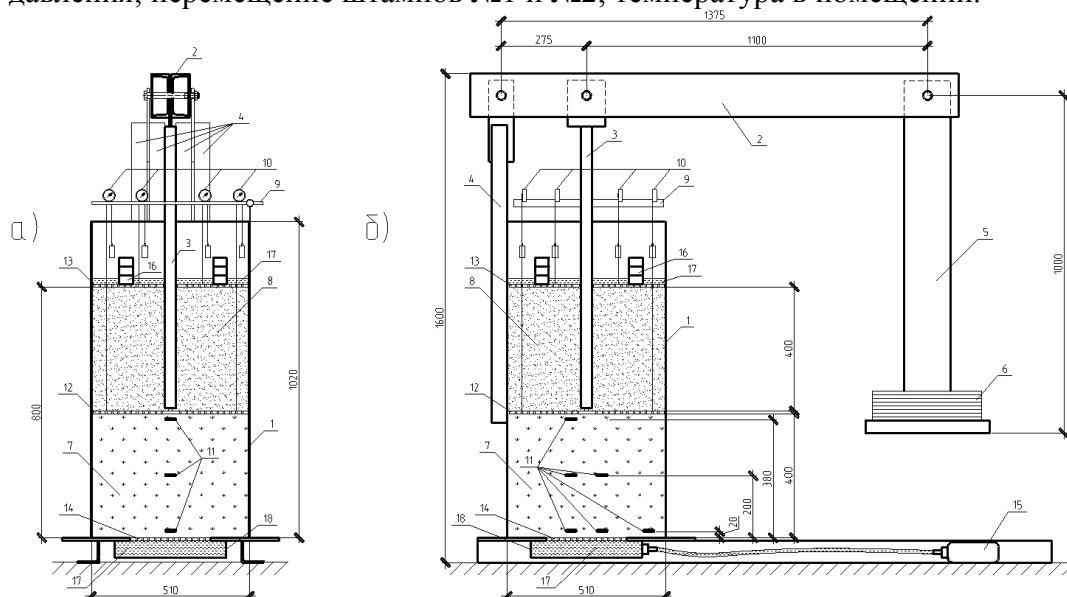


Рис. 2- Схема эксперимента:

1 – корпус; 2 – рычаг; 3 – загрузающий шток; 4 – стойка; 5 – загрузающая площадка; 6 – разновес; 7 – исследуемый образец; 8 – крупнозернистый песок; 9 – неподвижный штатив; 10 – датчики измерения деформаций; 11 – датчики измерения общих и поровых давлений; 12 – перфорированный штамп №1; 13 – перфорированный штамп №2; 14 – перфорированное дно установки; 15 – манометр; 16 – пригруз; 17 – вода; 18 – поддон.

В качестве образца использовался слабый водонасыщенный органо-минеральный грунт нарушенного сложения – сильноразложившийся торф засорённый песком, отобранный в районе п. Боровский Тюменской области. При укладке в экспериментальную установку проводилось предварительное уплотнение, физические характеристики имеют следующие значения: $\rho = 1,23 - 1,31 \text{ г/см}^3$, $W = 181 - 189 \%$, степень разложения – 45 %, зольность – 67 %. Размеры образца составляют: диаметр – 510 мм, высота – 400 мм. В качестве «грунтового замка» использовался крупнозернистый песок, $H_n=400 \text{ мм}$.

Высота образца торфа была принята 400 мм для сопоставления деформирования данного грунта с характеристиками, определенными стандартной методикой, в которой не учитывается условие удаленности образца от дневной поверхности, а также из соображений, что определение характеристик образцов меньших размеров не могут характеризовать систему в целом, и отображают её только в плане точечного определения [2]. Также при испытании стандартных образцов (40-80 мм в диаметре и высотой 20-30 мм) в одометре в силу малости высоты образца избыточные поровые давления через 75-90 мин уменьшаются до нуля в глинистых грунтах [1], для торфа процесс протекает ещё быстрее.

Для контроля выполнения условий метода компрессионного сжатия в образец были установлены тензорезисторные датчики общих давлений мембранного типа (мессдозы) диаметром 34 мм. Тарировка мессдоз выполнялась в аэростатическом баке. В качестве вторичного преобразователя (регистрирующей аппаратуры) использовался прибор ИТЦ-03п-40. Для измерения деформаций применялись датчики перемещений на базе индикаторов часового типа с ценой деления 0,1 мм. Для измерения избыточных поровых давлений использовались тензорезисторные датчики поровых давлений мембранного типа диаметром 34 мм и электронный манометр с точностью до 1 кПа (CPG1000), соединенный с поддоном.

Нагрузка на образец передавалась ступенями по 2,5 кПа (первые две ступени) и 5 кПа до стабилизации при заданной нагрузке. Критерием условной стабилизации принималось приращение деформации образца не превышающее 0,05 % (0,2 мм) за последние 24 часа наблюдений [4].

По полученным данным были построены графики зависимости относительных деформаций от давления (Рис. 3) и изменения избыточных поровых давлений во времени на разных ступенях нагружения по мессдозе, погруженной на глубину 380 мм (Рис. 4), и по манометру (Рис. 5) в образце.

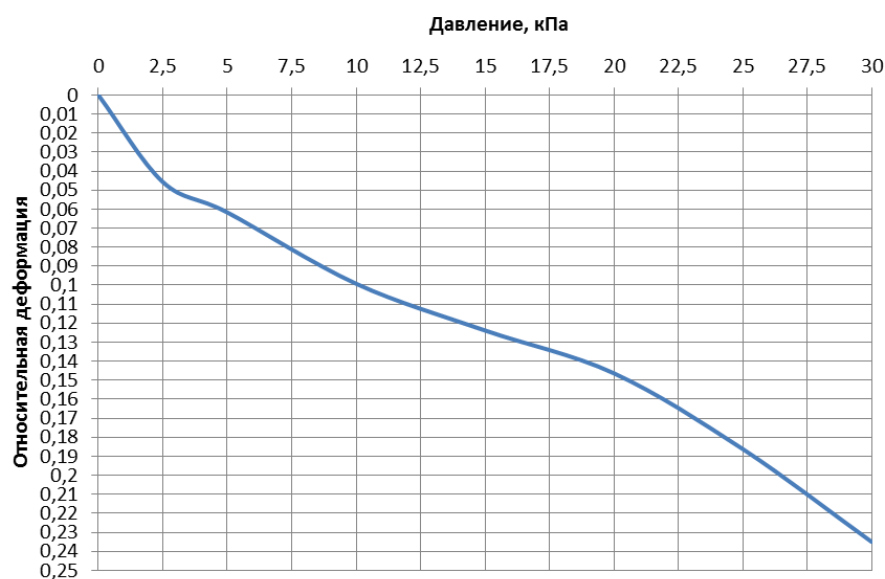


Рис. 3- График зависимости относительных деформаций от давления

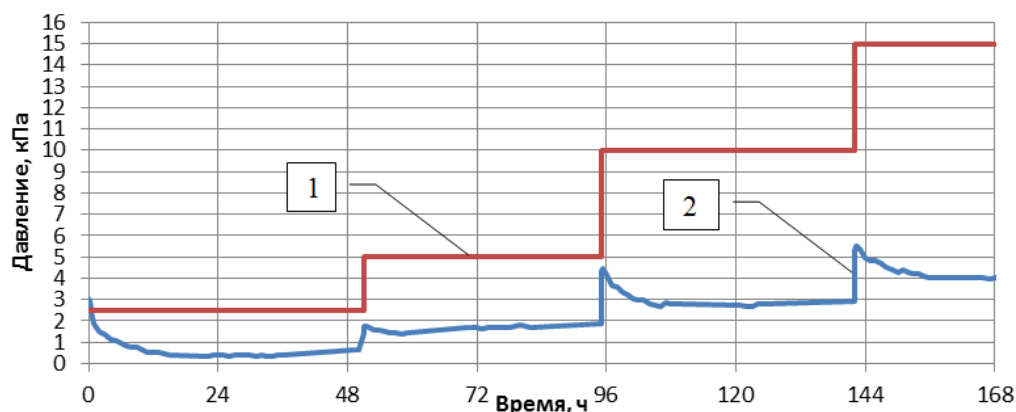


Рис. 4- График зависимости избыточного порового давления по мессдозе на глубине 380 мм от давления на образец за первую неделю эксперимента:
1 – давление под штампом, 2 – избыточное поровое давление

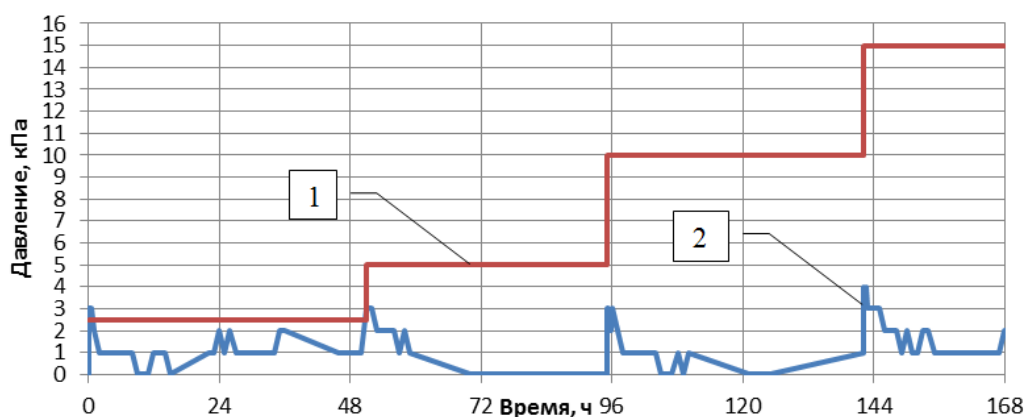


Рис. 5- График зависимости избыточного порового давления по манометру от давления на образец за первую неделю эксперимента:
1 – давление под штампом, 2 – избыточное поровое давление

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

1) расхождение показаний датчиков общих давлений не превышает 10 %, что говорит об эффективности мероприятия по снижению сил трения по стенкам и выполнению условий при испытании образцов методом компрессионного сжатия;

2) относительная деформация испытуемого образца составила 0,235;

3) конечные значения относительных деформаций по ступеням составили: 0,046 при $P_1=2,5$ кПа; 0,062 при $P_2=5$ кПа; 0,099 при $P_3=10$ кПа; 0,124 при $P_4=15$ кПа; 0,146 при $P_5=20$ кПа; 0,186 при $P_6=25$ кПа; 0,235 при $P_7=30$ кПа;

4) остаточное избыточное поровое давление по манометру составило 11 % от давления на образец через 30 дней после приложения последней ступени, отметим необходимость использования более точного манометра;

5) остаточное избыточное поровое давление, измеренное мессдозами, погруженными на глубину 200 и 380 мм, составило 16 и 22 % от давления на образец через 30 дней после приложения последней ступени;

6) максимальные значения избыточных поровых давлений, измеренных мессдозами, погруженными на глубину 200 и 380 мм (в момент приложения нагрузки), составили 38 и 43 % от давления на образец;

7) за критерий условной стабилизации необходимо принимать не только изменение приращения деформаций, но и стабилизацию показаний остаточных избыточных поровых давлений на каждой ступени индивидуально.

Список литературы

1. *Абелев М. Ю.* Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. –М.: Стройиздат, 1983. – 248 с.
2. *Амарян Л. С.* Свойства слабых грунтов и методы их изучения. –М.: Недра. 1990. – 220 с.
3. *Амарян Л. С.* Прочность и деформируемость торфяных грунтов. –М.: Недра. 1969. – 297 с.
4. *ГОСТ 12248-2010* Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
5. *Евгеньев И. Е.* Строительство автомобильных дорог через болота. –М.: Транспорт. 1968. – 220 с.
6. *Евгеньев И. Е., Казарновский В.Д.* Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. – М.: Транспорт. 1976. – 271 с.
7. *Инишева Л. И., Маслов С. Г.* Роль торфяных ресурсов в стратегии устойчивого развития // Труды Инсторфа – 2013 - №8 (61) – С. 3-10.
8. *Коновалов П. А., Кушнир С.Я.* Намывные грунты как основания сооружений. –М.: Недра. 1991. – 256 с.
9. *Морарескул Н. Н.* Основания и фундаменты в торфяных грунтах. –Л.: Стройиздат. 1979. – 80 с.

05.07.05

¹Д.Ф. Гайнутдинова, ¹В.Я. Модорский, ²Г.Ф. Масич¹ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Центр высокопроизводительных вычислительных систем,

d.gaynutdinova@mail.ru, modorsky@pstu.ru

²ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра ИТАС, Институт механики сплошных сред УрО РАН,
masich@icmm.ru

«ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ ГИДРОУПРУГОСТИ»

В ряде случаев при работе высокотехнологичного оборудования возникают непрогнозируемые эффекты, приводящие к параметрическим и функциональным отказам. Проектирование таких изделий является чрезвычайно сложной задачей. При этом сочетание современных численных методов расчета и высокопроизводительных вычислений на Супер ЭВМ позволяет существенно сократить время и стоимость при проектировании.

Ключевые слова: экспериментальная установка, супер ЭВМ, системах хранения данных.

Введение

Тезисы докладов объемом не более 5 страниц должны быть оформлены в данной работе рассмотрен способ исследования процессов взаимовлияния в динамической системе "сжимаемая жидкость - деформируемая конструкция", сочетающий численное моделирование с натурным экспериментом.

Анализ быстропротекающих процессов натурального эксперимента необходимо проводить в реальном масштабе времени, с целью управления ими для поиска оптимальных параметров процессами кавитации. Оптимизация требует создания технологической платформы на базе супер ЭВМ высокопроизводительного вычислительного комплекса ПНИПУ, сопряженного с экспериментальной установкой.

Постановка задачи

В ряде случаев процессы взаимовлияния в динамической системе "сжимаемая жидкость - деформируемая конструкция" могут явиться причиной возникновения непрогнозируемых опасных эффектов при работе высокотехнологичного оборудования. В частности, при работе центробежных насосов может наблюдаться непрогнозируемое снижение напора на выходе. Это явление объясняется возникновением кавитационных эффектов в каналах переменного сечения при воздействии вибраций стенок конструкции [1-5].

Численное моделирование. Для проверки этой гипотезы решается модельная задача, представляющая собой движение поршня (аналог деформируемой стенки) в замкнутой трубе, заполненной жидкостью. Поршень совершает движение по заданному синусоидальному закону $V=V_0 \sin \omega t$. В качестве расчетной среды используется система инженерного анализа FlowVision 2.5, которая позволяет решать задачи гидрогазодинамики и кавитации в трехмерной динамической постановке.

Для решения задачи поиска границ возникновения кавитации разработана математическая модель экспериментальной установки. Используется программа многопараметрической оптимизации измерений, поступающих от установки. Это позволит при соответствующем выборе модели оптимизации существенно снизить время счета на суперкомпьютере и управлять экспериментальной установкой в реальном времени.

Критерием оптимизации в нашем случае будет концентрация воздушных пузырьков C в жидкости, возникающих при движении поршня. Контролируемым параметром будет

давление жидкости. Варьируемыми параметрами управления экспериментальной установки будут амплитуда V_0 и частота ω колебаний. Диапазоны варьирования амплитуды колебаний V_0 от 0,1 м/с до 10 м/с, частоты колебаний ω от 100 рад/с до 10000 рад/с. В результате получим область возникновения и условия возникновения кавитации, подтверждаемые или не подтверждаемые по результатам измерений в натурном эксперименте.

Экспериментальная установка

Для исследования кавитационных явлений проектируется экспериментальная установка, эмулирующая движение поршня в замкнутой трубе (рис. 1).

Экспериментальная установка представляет собой конструкцию, состоящую из двух узлов – рабочей камеры и узла нагружения. Рабочая камера состоит из основания (плиты), набора грузов, трубы рабочей длиной 440 мм, общей длиной 480 мм, которая сваривается аргонодуговой сваркой с нижним фланцем. Труба жестко закреплена на массивном основании. В камеру заливается рабочее тело – вода. Поршень в рабочем цилиндре удерживается за счет двух резиновых уплотнений, надетых на него и установленных в специальные канавки. Уплотнения также служат для герметичности. Узел нагружения состоит из направляющей трубы, которая с помощью фланцевого болтового соединения крепится к рабочему цилиндру. Направляющая труба служит для обеспечения перемещения бойка, совершающего удар по поршню. Кроме того, предусмотрена возможность крепления регулируемых элементов на верхний фланец направляющей трубы. Это необходимо для настройки конструкции на резонансные частоты.

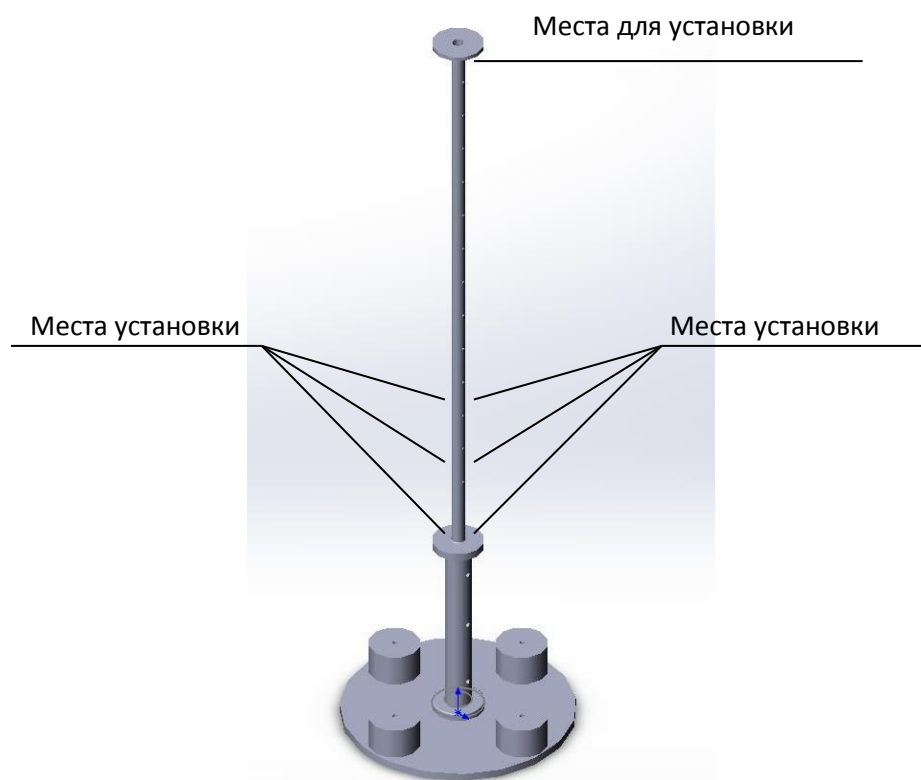


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Планируется установить датчики вибраций РСВ 352С03, имеющие следующие характеристики: чувствительность 10 мВ/г, частотный диапазон 0,3 Гц – 15 кГц, масса 5,8 гр., разъем 10-32 Jack. Это пьезоэлектрические датчики со встроенным микроэлектронным предусилителем заряда. Питание встроенного усилителя производится по двухпроводной схеме. Для измерения давления планируется использовать датчики давления ДАВ 084-1Б6. Микрофоны позволяют преобразовывать звуковое давление в электрический сигнал и служат первичным преобразователем в цепочке звукозаписывающего тракта. Микрофон является датчиком относительного (дифференциального) давления в жидкости. Сигналы с

микрофонов через специальную согласующую плату передаются на оборудование сбора данных [6].

Измерительная система.

Регистрации и предварительный анализ быстропротекающих процессов в рабочей камере выполняется программно-аппаратным комплексом на базе National Instruments NI PXI-1050. Измерительная система создана на базе шасси NIPXI\SCXI 1050 с установленным модулем сбора динамических сигналов NIPXI 4472 В.

Инфраструктура технологической платформы.

Технологическая платформа для экспериментальных и вычислительных исследований быстропротекающих процессов гидроупругости, показанная на рисунке 2, состоит из Суперкомпьютера, системы хранения данных (СХД) и Источника. Суперкомпьютером является высокопроизводительный вычислительный комплекс ПНИПУ, имеющий счетный интерконнект InfiniBand и интерконнект ввода-вывода Ethernet. Источником является вышеупомянутая измерительная система NIPXI\SCXI 1050, соединенная с изображенной на рисунке 1 экспериментальной установкой. Система хранения данных ориентирована на хранение больших объемов экспериментальных данных. Интерконнекты Ethernet вышеперечисленных компонент технологической платформы соединены друг с другом на скорости 1-10 Гбит/с, обеспечивая гибкость проводимых исследований согласно двум моделям обработки на суперкомпьютере измеряемых данных и управления экспериментом.

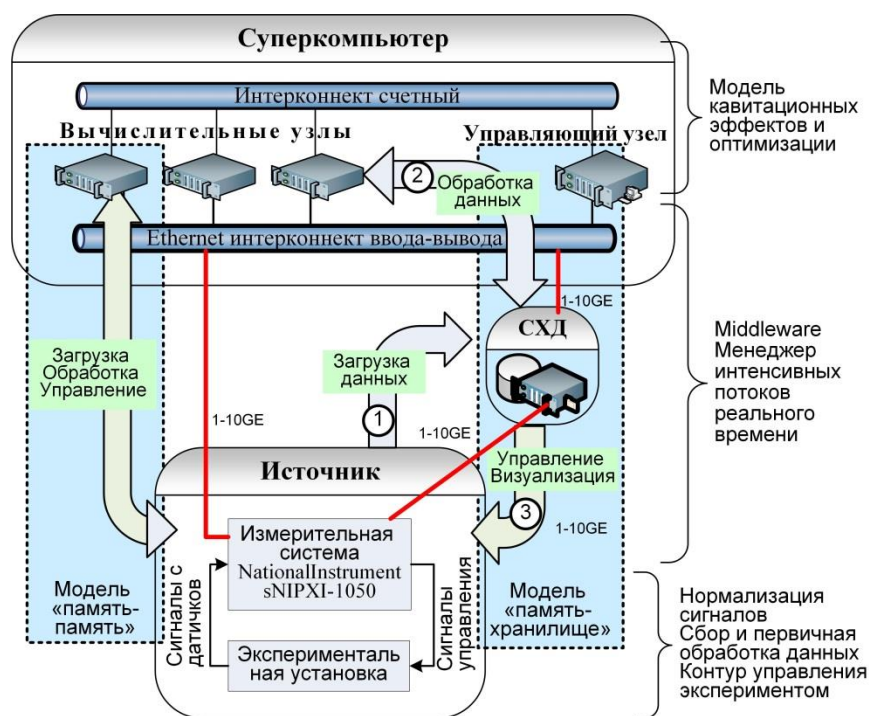


Рис.2. Инфраструктура технологической платформы

Модель «память-хранилище» имеет три этапа: загрузка данных от Источника в СХД (1), обработка размещенных в СХД данных на суперкомпьютере (2), выгрузка результатов обработки с СХД на Источник (3). Загрузка/выгрузка данных в/из хранилище (этапы 1 и 3) и последующая обработка (этап 2) выполняются либо с использованием протоколов передачи файлов (FTP/GridFTP и SCP), либо прямом доступе к хранилищу данных при помощи протоколов работы с файловой системой (CIFS и NFS/pNFS). Эта модель является классической схемой обработки больших данных на суперкомпьютере, в которой процесс измерений и процесс счета разорваны во времени и не обеспечивают в ряде случаев требованиям управления экспериментом.

Модель «память-память» ориентирована на обработку на суперкомпьютере интенсивного потока данных от Источника в реальном масштабе времени [7]. Идея этой модели основана на прямом вводе интенсивного потока структурированных данных в память вычислительных узлов суперкомпьютера, минуя внешнюю систему хранения данных. Адаптация реализованного комплекса специализированного программного обеспечения middleware модели «память-память» [7, 8] для создаваемой технологической платформы – основной предмет организации взаимодействия Источника с Суперкомпьютером. Менеджер SciMQ является основной частью реализованного middleware, с которым взаимодействуют приложения Источника и Суперкомпьютера по протоколу SciMP [8] через API, предоставляемый клиентской библиотекой.

Выводы.

Разрабатываемая технологическая платформа будет использована для анализа быстропротекающих процессов в наукоемких изделиях, где требуется управление в реальном масштабе времени и оптимизация по рабочим параметрам. Отличительной особенностью архитектурного решения является соединение математической модели исследуемого процесса на суперкомпьютере с лабораторной установкой, эмулирующей исследуемый процесс.

Ссылки на грант рекомендуется располагать перед списком Работы проводятся при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Грант РФФИ № 14-07-96003-р_урал_a.

Список литературы

1. Модорский В.Я., Соколкин Ю.В. Газоупругие процессы в энергетических установках. – М.: Наука, 2007. – 176 с.
2. Решение инженерных задач на высокопроизводительном вычислительном комплексе Пермского национального исследовательского политехнического университета: моногр. / под ред. В.Я. Модорского. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 314с.
3. А.В. Козлова, В.Я. Модорский. Численное моделирование кавитационных эффектов в замкнутой трубе с подвижной стенкой. Научно-технический вестник Поволжья. №2 2013г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – с. 132-135
4. Д.Ф. Гайнутдинова, А.В. Козлова, В.Я. Модорский, Е.В. Мехоношина. Численное моделирование кавитационных эффектов при действии вибрации. Научно-технический вестник Поволжья. №6 2013г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – с. 219-223
5. Е.В. Мехоношина, В.Я. Модорский, А.В. Козлова, Д.Ф. Гайнутдинова, Исследование влияния вибраций и давления на возникновение кавитации. Научно-технический вестник Поволжья. №6 2013г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – с. 364-368
6. Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский, Ю.В.Соколкин, Разработка экспериментальной установки и исследование влияния материала корпуса на резонансные частоты в системе «газ-конструкция, Научно-технический вестник Поволжья. №6 2013г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – с. 197-200
7. В.А. Щапов, А.Г. Масич, Г.Ф. Масич. Модель потоковой обработки экспериментальных данных в распределенных системах // Вычислительные методы и программирование. 2012. Раздел 2. С. 139-145
8. Vladislav Shchapov, Alexey Masich. Protocol of High Speed Data Transfer from Particle Image Velocimetry System to Supercomputer // Proc. of The 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2012) September 18-21, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 2012, - Vol.2., P. 653-657 DOI: 10.1109/IFOST.2012.6357642.

05.13.15

И.Б. Гинзбург

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, iliagi@mail.ru

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО НАСЫЩЕННЫХ ВЕБ-КЛИЕНТОВ

Требования, предъявляемые к распределенным системам информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники, а именно: отказоустойчивость и использование многообразия устройств – клиентов, ограничивают использование традиционных специализированных и веб-клиентов. В обеспечение удовлетворения этим требованиям предлагается концепция построения названных систем с использованием универсальных веб-клиентов с возможностью резервирования вводимых пользователем данных и автономной работы.

Ключевые слова: *жизненный цикл изделий, клиентские приложения для систем поддержки жизненного цикла изделий, мобильные приложения, функционально насыщенные веб-приложения.*

Основная идея современных информационных систем (ИС) поддержки жизненного цикла аэрокосмической техники – создание единого информационного пространства, посредством которого взаимодействует персонал различных географически распределенных организаций, участвующий в реализации жизненного цикла изделий. При этом наиболее распространенной является клиент-серверная организация ИС, являющаяся стандартом создания распределенных систем, а на этапе технического обслуживания аэрокосмической техники весьма востребованной является реализация клиентов на мобильных устройствах.

Можно выделить два основных требования к распределенным системам технического обслуживания АКТ. Первое из них – обеспечение отказоустойчивости системы «мобильное устройство – сервер» – связано с использованием радиоканалов для связи клиентов с сервером и, соответственно, возможностью разрывов связи клиента с сервером вследствие радиопомех. Разрыв связи в процессе обмена информацией чреват потерей или искажением информации, последствием чего может стать некорректное управление процессами обслуживания изделий. Второе требование – обеспечение возможности использования в рамках единой системы различных типов клиентских устройств. Это объясняется тем, что, если рассмотреть, например, систему логистической поддержки аэрокосмических изделий [1], то видно участие в работе этой системы множества часто административно несвязанных организаций. В этих условиях наложение ограничений на используемые ими мобильные устройства практически невозможно.

К настоящему времени известен ряд нативных технологий для создания отказоустойчивых клиентских решений для мобильных устройств в интегрированных ИС. К ним относятся Objective-C для iOS [2], Java для Android [3], C# для Windows Phone [4] и др. Однако эти технологии не позволяют удовлетворить требованию универсальности единого решения для всех типов мобильных устройств, поскольку являются проприетарными [5]. Соответственно, использование такой технологической базы ограничивает переносимость приложений с платформы на платформу и требует поддержки абсолютно разных приложений для каждой платформы.

В то же время, при отказе от нативных технологий и использовании обычных веб-приложений для обеспечения универсальной переносимости между различными платформами, невозможно удовлетворить требованию к надежности и мобильности, так как обычные веб-приложения не обладают возможностью автономного хранения данных и требуют постоянного подключения к серверу. Соответственно, они не могут бороться со сбоями подключения между клиентом и сервером.

Предлагаемая концепция, позволяет удовлетворить названным двум требованиям. В её основе лежит локальное сохранение больших объемов данных средствами веб-приложения, в результате чего достигается сохранение как вводимых пользователем, так и получаемых от сервера данных на клиентском уровне средствами одного лишь веб-приложения.

При таком подходе обеспечивается преобразование существующего обычного веб-приложения в веб-приложение с функциями автономного программного агента, обладающего возможностью резервирования вводимых пользователем данных для обеспечения отказоустойчивости и штатной автономной работы с полученными с сервера данными, которое удовлетворяет как требованию обеспечения надежности и мобильности, так требованию универсальности единого решения для различных платформ мобильных устройств.

Структура клиент-серверной системы, согласно предложенной концепции, представлена на рис. 1, где жирной рамкой выделена совокупность клиентских и серверных программных модулей для наделения клиентского веб-интерфейса ИС функциями автономного программного агента.

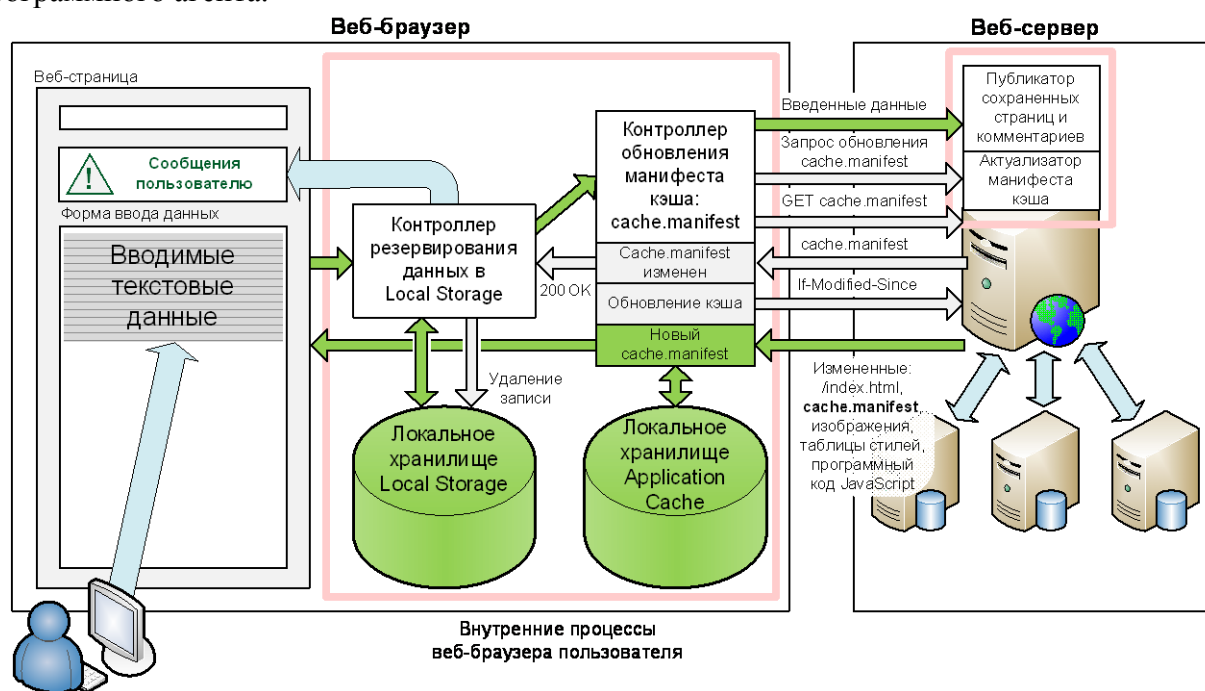


Рис. 1 – Структура предлагаемого решения

Согласно предложенной схеме, клиент-серверная система включает в себя две библиотеки клиентских и серверных модулей в виде:

- универсальной клиентской библиотеки резервирования вводимых пользователем данных для автономного сохранения данных при потере соединения с сервером с последующей их отправкой на сервер, а также серверного асинхронного публикатора полученных данных;
- универсальных клиентского и серверного компонентов для управления актуализацией локального хранилища кода веб-приложения и данных, полученных с сервера для обеспечения штатной автономной работы.

Названные компоненты придают существующим веб-клиентам ИС такие функции как автоматическое аварийное резервирование вводимых пользователем данных и их

восстановление на сервер, возможность установки на устройство пользователя, автономной работы и обновления клиентского программного агента, а также управление его конфигурацией с сервера системы.

Важной полезной особенностью предлагаемого подхода является возможность не только создания новых отказоустойчивых автономных веб-приложений, но и модернизация существующих веб-приложений (например, веб-интерфейсов к различным БД и корпоративных порталов) для придания им отказоустойчивых автономных веб-клиентов.

Предлагаемый подход к обеспечению отказоустойчивости и автономности работы веб-клиентов в мультиагентных системах хорошо согласуется со стандартом HTML5 [6], который используется как технологическая основа реализации клиентской части распределенной ИС. В частности, при реализации предложенного подхода используются следующие основные конструктивы и технологии данного стандарта:

- постоянное локальное хранилище данных Local Storage – применяется для локального резервирования введенных пользователем данных для обеспечения надежной доставки вводимых пользователем данных на сервер вне зависимости от качества соединения;
- постоянное локальное хранилище данных Application Cache – применяется для локального сохранения данных, получаемых с сервера, для обеспечения автономной работы клиентского программного агента с уже загруженными данными при разрывах соединения с сервером;
- кроссбраузерная JavaScript библиотека jQuery – применяется для обеспечения одинакового функционирования и унификации программного кода клиентской части разработанной системы для всех современных веб-браузеров.

Таким образом, предложенная концепция построения интегрированных клиент-серверных систем информационной поддержки работ на этапах эксплуатации и технического обслуживания изделий аэрокосмической техники базируется на создании функционально насыщенных веб-приложений с функциями резервирования данных и автономной работы и хорошо согласуется со стандартом HTML5. Это обеспечивает:

- 1) повышение уровня отказоустойчивости этих систем;
- 2) их независимость от вида мобильных устройств и/или операционной системы;
- 3) эффективную реализацию унифицированных автономных информационных агентских веб-приложений для работы с данными ИС в режиме офлайн.

Список литературы

1. Судов Е.В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения [Текст] / Е. В. Судов, А. И. Левин, А. В. Петров, Е. В. Чубарова. – М.: ООО Издательский дом «ИнформБюро», 2006. – 232 с. – ISBN 5-98623-014-0.
2. Programming with Objective-C: About Objective-C [Электронный ресурс] // Веб-сайт Apple iOS Developer Library. – <https://developer.apple.com/library/ios/documentation/Cocoa/Conceptual/ProgrammingWithObjectiveC/Introduction/Introduction.html>
3. Как получить программное обеспечение Java для мобильных устройств? [Электронный ресурс] // Веб-сайт Oracle Java. – http://www.java.com/ru/download/faq/java_mobile.xml
4. Разработка универсальных приложений для Windows [Электронный ресурс] // Веб-сайт Центр разработки Microsoft. – <http://dev.windows.com/ru-ru/develop>
5. Free Software Foundation — working together for free software [Электронный ресурс] / Веб-сайт The Free Software Foundation. – Режим доступа: <http://www.fsf.org/>
6. HTML5. A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML [Электронный ресурс] / Editors: R. Berjon, S. Faulkner, T. Leithhead, E. Doyle Navara, E. O'Connor, S. Pfeiffer, I. Hickson // Веб-сайт W3C. – 17.06.2014. – Режим доступа: <http://www.w3.org/TR/html5/>

05.22.10

И.С. Глумов

Тюменский государственный нефтегазовый университет, институт транспорта,
кафедра прикладной механики, Тюмень, glumov@tsogu.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Для повышения качества ресурсов используемых в пассажирских перевозках необходима методика, позволяющая не только оценить их уровень, но и позволяющая управлять процессом их подготовки. В этой статье представлена методика, основанная на процессном подходе международного стандарта ISO серии 9000.

Ключевые слова: *подвижной состав, пассажирские перевозки, комфортность, безопасность, надежность, оптимизация.*

Проблемы организации и осуществления пассажирских перевозок требуют разработки механизма, обеспечивающего качество данных услуг. В современных условиях проблема повышения качества оказания данных услуг связана с обеспечением комфортности, выполнения требований безопасности, надежностью подвижного состава и т.д. При этом схемы повышения качества должны быть формализованы и универсальны для всех автотранспортных предприятий, осуществляющих пассажирские перевозки. Одним из наиболее распространенных документов, позволяющих унифицировано решать должные проблемы, являются международные стандарты серии ГОСТ ISO 9001-2011 [1], устанавливающие требования к системе менеджмента качества.

В рамках документов ИСО рассматриваем четыре блока процессов: ответственность руководства, менеджмент ресурсов, процессы жизненного цикла и измерение, анализ и улучшение.

Процесс ответственности руководства связан с разработкой и реализацией планов стратегического и оперативного менеджмента. Данная постановка задачи в работе не рассматривалась.

Менеджмент ресурсов оценивается комплексно, через материально-техническое обеспечение; управление персоналом; административно-хозяйственная деятельность, техническое обслуживание и ремонт.

Уровень готовности подвижного состава для пассажирских перевозок достигается через систему технического обслуживания и ремонта (ТОиР) [2]. С позиции системы менеджмента надежности [3] систему технического обслуживания и ремонта оцениваем следующим образом

$$N_{TOиР} = (M_{рес\ TOиР} + ПЖЦ_{TOиР} + ИАУ_{TOиР}) / 3,$$

где $M_{рес\ TOиР}$ - оценка менеджмента ресурсов при ТОиР; $ПЖЦ_{TOиР}$ - оценка процесса жизненного цикла при ТОиР; $ИАУ_{TOиР}$ - показатель измерения, анализа и улучшения при ТОиР.

Менеджмент ресурсов оценивается через: показатель общего состояния рабочих мест; кадровое обеспечение, продуктом является обеспеченность кадрами и их профессионализм; продуктом административно – хозяйственной деятельности являются инфраструктура и производственная среда; процесс материально – технического снабжения обеспечивает проведение технического обслуживания запасными частями, деталями, горюче – смазочными и эксплуатационными материалами.

Процесс жизненного цикла оцениваем, через необходимый объем работ для подготовки подвижного ресурса к выходу из парка. Величина показателя вычисляется по следующей формуле

$$V_{ППВС} = \frac{\sum_{i=1}^m N_{BPPi}}{\sum_{i=1}^n N_{HPPi}},$$

где $\sum_{i=1}^m N_{BPPi}$ – выполненные регламентные работы; $\sum_{i=1}^n N_{HPPi}$ – общее количество регламентных работ; i – единичная операция.

Оценка конечного продукта проводилась по следующей формуле

$$PK = \sqrt[3]{ПБ \cdot ПК \cdot НВС},$$

где PK – результирующий показатель; $ПК$ – показатель комфортности; $ПБ$ – показатель безопасности, $НВС$ – надежность водительского состава.

С целью установления влияния качества обеспечивающих процессов ППВС был использован аппарат факторного анализа. По результатам анализа было выявлено высокое влияние на результирующий признак процессов менеджмент ресурсов и жизненный цикл.

В дальнейшем проводилась оптимизация для нахождения оптимального результирующего коэффициента – стоимость с позиции максимального прироста эффективности. Задача формулируется следующим образом: необходимо определить уровень PK подготовки ресурсов, соответствующий максимальному приросту эффективности и удовлетворяющий ограничениям $C(PK) \leq Z_{OKmax}$.

Оценивая уровень PK исходного варианта (минимальный уровень PK) подвижного состава, изучают эффективность и стоимость за данный период. По каждому последующему году оценивают затраты ΔCi на повышение PK , строят зависимость $C(PK)$ путем аппроксимации и определяют прирост эффективности ΔEi . Максимальный уровень прироста эффективности будет соответствовать оптимальному уровню PK .

Годовые затраты на подготовку подвижного и водительского состава рассчитываются следующим образом

где $C(PK)$ – полные годовые затраты, тыс.руб.; C_{OP} – годовые затраты на ответственность

$$C(PK) = C_{OP} + C_{MPec}(PK) + C_{ПЖЦ}(PK) + C_{ИАУ},$$

руководства; $C_{MPec}(PK)$ – годовые затраты на менеджмент ресурсов; $C_{ПЖЦ}(PK)$ – годовые затраты на процессы жизненного цикла; $C_{ИАУ}$ – годовые затраты на измерение, анализ, улучшение.

Эффективность рассчитывается как прибыль от эксплуатации подвижного и водительского состава

где $P_{MЧ}$ – средняя стоимость машино-часа, тыс.руб./маш.-час; $K_{MЧ}(PK)$ – количество

$$E(PK) = P_{MЧ} \times K_{MЧ}(PK),$$

оказанных услуг, машино-час.

Прирост эффективности должен быть максимальным

$$\Delta E(PK) = E(PK) - C(PK) \rightarrow \max.$$

Соответствующий максимальному значению результирующий коэффициент и будет оптимальным для рассматриваемого предприятия.

Один из примеров реализации модели оптимизация подробно описан в [4]. График целевой функции представлен на рис. 1. Для рассматриваемого предприятия был определен оптимальный уровень результирующего коэффициента – 0.77.

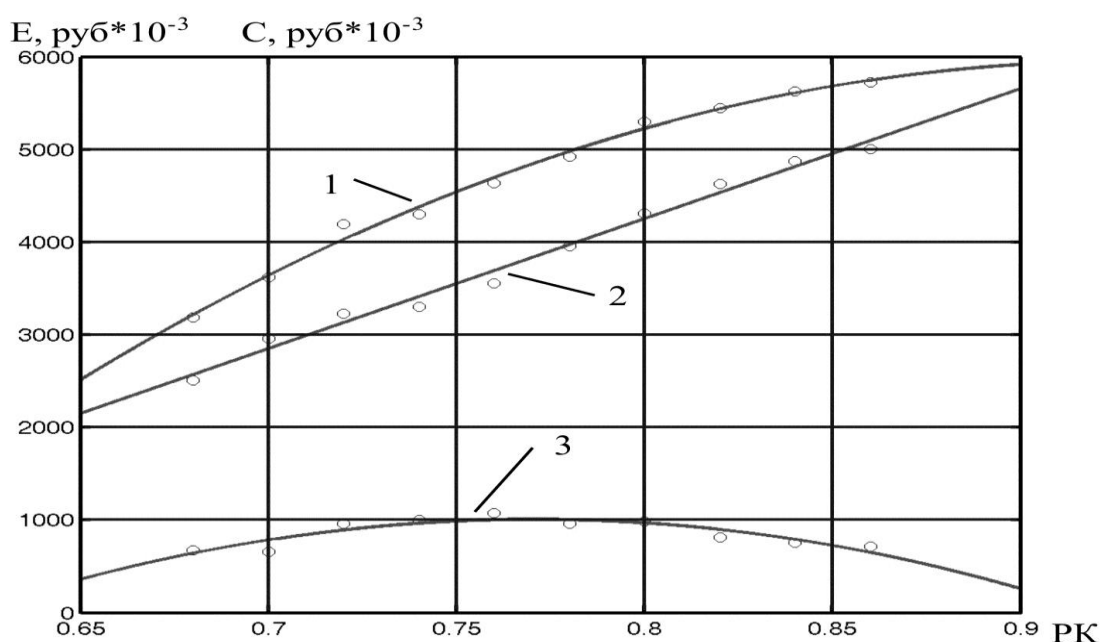


Рис. 1. - Целевая функция оптимального размера РК с позиции максимального прироста прибыли (1 – эффективность; 2 – затраты на ППВС; 3 – доход)

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Повышение результирующего коэффициента (и качества соответственно) выше оптимального уровня ведет к повышению затрат на ППВС и понижению эффективности.
2. Для рассматриваемого транспортного предприятия при существующих условиях эксплуатации оптимальным является $РК=0.77$.

Список литературы

1. ГОСТ ISO 9001-2011. Система менеджмента качества. Требования – Введ. 2013-01-01. – М.: Стандартиформ, 2012. – 36 с.
2. Карнаухов, А.Н., Обеспечение технической готовности подвижного состава автотранспортного предприятия / А.Н. Карнаухов, Е.Ю. Иванова, И.С. Глумов // Проблемы эксплуатации систем транспорта: Сборник статей региональной научно-практической конференции. - Тюмень, 2006. – С.119-121.
3. ГОСТ Р 51901.3-2007. Менеджмент риска. Руководство по менеджменту надежности. – Введ. 2008-09-01. – М.: Стандартиформ, 2008. – 45 с.
4. Якубовский, Ю.Е. Процессный подход в деятельности транспортных предприятий / Ю. Е. Якубовский, И.С. Глумов // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: Материалы международной научно-технической конференции. - Екатеринбург, 2007. – С.184-186.

05.02.02

К.Г. Горгоц

Югорский государственный университет, Политехнический институт,
кафедра автомобильного транспорта, Ханты-Мансийск, gorgotz_konst@mail.ru

ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНОЙ СИЛЫ НА ЗАЗОРЫ В ЗАЦЕПЛЕНИЯХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ ТИПА 2К-Н БОРТОВЫХ РЕДУКТОРОВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

В работе представлены результаты теоретического исследования влияния деформаций деталей, возникающих под действием радиальной силы со стороны ходовой части на формирование зазоров в зацеплениях зубчатых колёс планетарных бортовых редукторов транспортно-технологических машин).

Ключевые слова: бортовые редукторы, неравномерность нагружения, сателлиты, эпитциклическая шестерня.

В современных колёсных и гусеничных транспортно-технологических машинах повсеместно используют на выходе из трансмиссий бортовые (конечные) редукторы, имеющие в своём составе планетарные передачи типа 2К-Н. Характерной особенностью функционирования таких планетарных передач является нагружение водила значительной по величине радиальной силой (P), которая зависит от передаваемого крутящего момента (T) и носит переменный характер. Под действием радиальной силы происходят деформации деталей корпуса и в результате этого взаимные отклонения зубчатых колёс в торцевой, общей нормальной и общей касательной плоскостях. Переменные крутящий момент и радиальная сила обуславливают переменный характер деформаций деталей и, как следствие неравномерности нагружения сателлитов [1].

В существующих методиках расчёта зубчатых колёс планетарных передач на прочность [2, 3] и др. взаимные смещения зубчатых колёс связывают с погрешностями изготовления и сборки деталей. Величины таких отклонений считаются постоянными для конкретного механизма, поэтому значения коэффициентов, учитывающих неравномерность нагружения сателлитов принимаются постоянными. В связи с этим возникает необходимость оценивать влияние крутящего момента и радиальной силы, нагружающей водило, на пространственные отклонения зубчатых колёс и далее на неравномерность нагружения сателлитов.

Многообразие факторов, влияющих на неравномерность нагружения сателлитов, а также взаимосвязи между этими факторами обуславливают комплексный характер решаемой задачи.

Схема перекосов и смещений зубчатых колёс планетарной передачи типа 2К-Н при нагружении водила радиальной силой представлена на рисунке 1.

Нагружение водила радиальной силой P_h приводит к возникновению в опорах, расположенных в картере и крышке картера, реакций R_1 и R_2

$$R_1 = P_h(a+b)/b,$$

где a - расстояние между точкой приложения радиальной силы и серединой опоры водила в картере, м; b - расстояние между серединами опор водила в картере и крышке картера, м.

Картер и крышка картера нагружаются соответственно радиальными силами P_1 и P_2 , равными по величине реакциям в опорах, но противоположными им по направлению, то есть $P_1 = R_1$, $P_2 = R_2$. Под действием радиальных сил P_1 и P_2 возникают радиальные деформации картера, крышки картера и установленных в них подшипников, которые приводят к перемещениям осей опор соответственно на величины Δ_1 и Δ_2 . Водило перекашивается при этом относительно первоначального положения на угол γ_h (в первоначальном положении оси зубчатых колёс и водила принимаются между собой параллельными). Совместно с

водитом перекашивается каждый сателлит на угол γ_h .

$$\Delta_1 = P_h(a+b)/b\lambda_1 + \Delta_{\Pi 1} + \Delta_{01}, \quad (1)$$

$$\Delta_2 = P_h a/b\lambda_1 + \Delta_{\Pi 2} + \Delta_{02}, \quad (2)$$

где λ_1 - суммарная радиальная жесткость картера и расположенного в нем подшипника водила, Н/м; λ_2 - суммарная радиальная жесткость крышки картера и расположенного в ней подшипника водила, Н/м; $\Delta_{\Pi 1}, \Delta_{\Pi 2}$ - радиальные зазоры в подшипниках, установленных соответственно в картере и крышке картера, м; Δ_{01}, Δ_{02} - радиальные зазоры между обоями подшипников и сопрягаемыми деталями, м.

Величины суммарной радиальной жесткости λ_1, λ_2 составляют

$$\lambda_1 = \lambda_{K1}\lambda_{\Pi 1}/(\lambda_{K1} + \lambda_{\Pi 1}), \quad \lambda_2 = \lambda_{K2}\lambda_{\Pi 2}/(\lambda_{K2} + \lambda_{\Pi 2}),$$

где $\lambda_{K1}, \lambda_{K2}$ - радиальные жесткости соответственно картера и крышки картера, Н/м; $\lambda_{\Pi 1}, \lambda_{\Pi 2}$ - радиальные жесткости подшипников, установленных соответственно в картере и крышке картера, Н/м. Величина угла перекося водила γ_h относительно первоначального положения при его нагружении радиальной силой определяется из выражения

$$\gamma_h = \arctg \Delta_1 / e = \arctg \Delta_2 / (b - e),$$

где e - расстояние от середины опоры водила в картере до точки D, образуемой пересечением оси водила после перекося на угол γ_h с ее первоначальным положением. В свою очередь, величина e может быть представлена в виде

$$e = \Delta_1 b / (\Delta_1 + \Delta_2), \quad (3)$$

тогда

$$\gamma_h = \arctg \left(\frac{P_h}{b} \left(\frac{a+b}{\lambda_1} + \frac{a}{\lambda_2} \right) + \Delta_{\Pi 1} + \Delta_{\Pi 2} + \Delta_{01} + \Delta_{02} \right) / b.$$

Углы перекося колес не превышают сотых долей радиан, поэтому данная формула приводится к виду

$$\gamma_h = \left(\frac{P_h}{b} \left(\frac{a+b}{\lambda_1} + \frac{a}{\lambda_2} \right) + \Delta_{\Pi 1} + \Delta_{\Pi 2} + \Delta_{01} + \Delta_{02} \right) / b. \quad (4)$$

Перекося водила на угол γ_h относительно первоначального положения приводит к смещению проекции его оси в торцовом сечении зубчатых колес на величину e_g . При этом зубья сателлитов перемещаются в торцовом сечении также на величину e_g . Для рассматриваемых планетарных передач является характерным несимметричное расположение зубчатых венцов относительно опор водила (зубчатые венцы смещены к крышке картера) и более высокая радиальная жесткость крышки картера по сравнению с радиальной жесткостью картера. В результате этого зубья сателлитов смещаются в торцовом сечении в направлении действия радиальной силы P_h . Величина смещения зубьев сателлитов e_g определяется $e_g = (e - u_k) \operatorname{tg} \gamma_h$,

где u_k - расстояние между торцовой плоскостью и серединой опоры водила в картере, м.

После подстановки формул (1)-(4) и преобразований зависимость для определения величины e_g приводится к виду

$$e_g = \left\{ \left[\frac{P_h(a+b)}{b\lambda_1} + \Delta_{\Pi 1} + \Delta_{01} \right] b / \left[\frac{P_h}{b} \left(\frac{a+b}{\lambda_1} + \frac{a}{\lambda_2} \right) + \Delta_{\Pi 1} + \Delta_{\Pi 2} + \Delta_{01} + \Delta_{02} \right] - u_k \right\} \cdot \left[\frac{P_h}{b} \left(\frac{a+b}{\lambda_1} + \frac{a}{\lambda_2} \right) + \Delta_{\Pi 1} + \Delta_{\Pi 2} + \Delta_{01} + \Delta_{02} \right] / b. \quad (5)$$

Величина смещения зубьев эпициклической шестерни в торцовом сечении определяется по формуле $e_b = (d - 0.5b_{ob}) \operatorname{tg} \gamma_b$,

где b_{ob} - рабочая ширина зубчатого венца эпициклической шестерни; γ_b - угол перекося

зубьев эпициклической шестерни, возникающий в результате радиальной деформации картера, рассчитывается по формуле

$$\gamma_h = \arctg(\Delta_3 / d). \quad (6)$$

Величина смещения цилиндрической части картера Δ_3 определяется

$$\Delta_3 = P_3 / \lambda_3, \quad (7)$$

где P_3 - поперечная сила, нагружающая цилиндрическую часть картера, Н; λ_3 - радиальная жесткость цилиндрической части картера, Н/м. Величина силы P_3 определяется из уравнения моментов сил, действующих относительно привалочной плоскости картера (заделки картера)

$$P_3 = P_h(a+b)/d. \quad (8)$$

После подстановки формул (6)-(8) и преобразования зависимость для определения величины e_b приводится к виду

$$e_b = P_h(a+b)(d - 0.5b_{ob})/d^2\lambda_3. \quad (9)$$

Смещения эпициклической шестерни относительно сателлитов в торцовом сечении приводит к изменению величины зазоров и натягов в зацеплениях их зубьев (рис. 2 А). При этом считается, что в исходном состоянии проекции (на торцовую плоскость зубчатых колес) оси водила, и оси эпициклической шестерни совпадают. После нагружения планетарной передачи радиальной силой величина взаимного смещения оси эпициклической шестерни (точка О относительно оси водила (точка О')) e_{b-h} составит $e_{b-h} = OO' = e_g - e_b$. При этом главные поверхности сопряженных зубьев эпициклической шестерни и сателлитов сместятся также в торцовом сечении на величину e_{b-g} , равную $e_{b-g} = e_{b-h} = e_g - e_b$. Такие смещения приводят к изменению зазоров и натягов между сопряженными зубьями эпициклической шестерни и j -го сателлита в плоскости, проходящей через контактную нормаль п-п, на величину e_{oj} равную

$$e_{oj} = e_{b-g} \sin(\varphi_j + \alpha_{tw}),$$

где φ_j - угловое положение j -го сателлита по отношению к направлению действия радиальной силы, град., α_{tw} - угол зацепления, град.,

Из данной зависимости следует, что наибольшие по величине натяги между сопряженными зубьями имеют место в случае $\sin(\varphi_j + \alpha_{tw}) = 1$, что соответствует положению j -го сателлита $\varphi_j = 0.5\pi - \alpha_{tw}$. Наибольшие по величине зазоры между сопряженными зубьями имеют место в случае $\sin(\varphi_j + \alpha_{tw}) = -1$, что соответствует положению j -го сателлита $\varphi_j = 0.5\pi - \alpha_{tw}$.

Для определения условий, при которых возникает неравномерность нагружения сателлитов, рассмотрим два варианта приложения крутящего момента к солнечной шестерне: по часовой стрелке и против нее (смотреть со стороны солнечной шестерни). При приложении крутящего момента в направлении по часовой стрелке перемещение сателлитов на величину e_{b-g} приводит к уменьшению бокового зазора между сопряженными зубьями, расположенными справа от линии CC' - зона I (рис. 2 Б). В зацеплениях, расположенных слева от этой линии - зона II, боковой зазор возрастает. При приложении крутящего момента в направлении против часовой стрелки боковой зазор уменьшается в зацеплениях, расположенных слева от линии $C'C_1'$, - зона I', и увеличивается в зацеплениях, расположенных справа от нее - зона II'. Поэтому при передаче крутящего момента в направлении по часовой стрелке наиболее нагруженными являются сателлиты, расположенные в зоне I, а при передаче крутящего момента в противоположном направлении - расположенные в зоне I', для которых натяги в зацеплениях с эпициклической шестерней имеют наибольшие значения (т.е. $\sin(\varphi_j + \alpha_{tw}) = 1$). В дальнейшем сателлиту,

для которого перемещение в торцовом сечении на величину e_{b-g} приводит к образованию наибольших натягов, присваивается индекс А. Тогда величина бокового зазора $e_{\omega(A-j)}$ в зацеплении j -го сателлита с эпициклической шестерней определится как разность величин $e_{\omega A}$ и $e_{\omega j}$, то есть $e_{\omega(A-j)} = e_{\omega A} - e_{\omega j}$.

В свою очередь $e_{\omega j} = e_{b-g} \sin(\varphi_j + 360^\circ(j-1)/n_\omega + \alpha_{t\omega})$, тогда

$$e_{\omega(A-j)} = (e_g - e_b) [\sin(\varphi_j + \alpha_{t\omega}) - \sin(\varphi_j + 360^\circ(j-1)/n_\omega + \alpha_{t\omega})].$$

Заменив в величины e_g и e_b формулами (5) и (9), получаем

$$e_{\omega(A-j)} = \left\{ \left[\left(\frac{P_h(a+b)}{b\lambda_1} + \Delta_{\Pi 1} + \Delta_{O1} \right) b / \left(\frac{P_h}{b} \left(\frac{a+b}{\lambda_1} + \frac{a}{\lambda_2} \right) + \Delta_{\Pi 1} + \Delta_{\Pi 2} + \Delta_{O1} + \Delta_{O2} \right) - u_k \right] \cdot \left[\frac{P_h}{b} \left(\frac{a+b}{\lambda_1} + \frac{a}{\lambda_2} \right) + \Delta_{\Pi 1} + \Delta_{\Pi 2} + \Delta_{O1} + \Delta_{O2} \right] / b - \frac{P_h(a+b)(d - 0.5b_{ob})}{d^2\lambda_3} \right\} [\sin(\varphi_j + \alpha_{t\omega}) - \sin(\varphi_j + 360^\circ(j-1)/n_\omega + \alpha_{t\omega})].$$

Таким образом, теоретически установлено, что величины боковых зазоров в зацеплении сателлитов с эпициклической шестерней планетарных передач типа 2К-Н бортовых редукторов транспортно-технологических машин зависят от боковых зазоров в зацеплениях, радиальной силы, нагружающей водило, а также углового положения сателлитов по отношению к направлению её действия. Это позволяет перейти к решению следующей задачи по определению характера изменения неравномерности нагружения сателлитов.

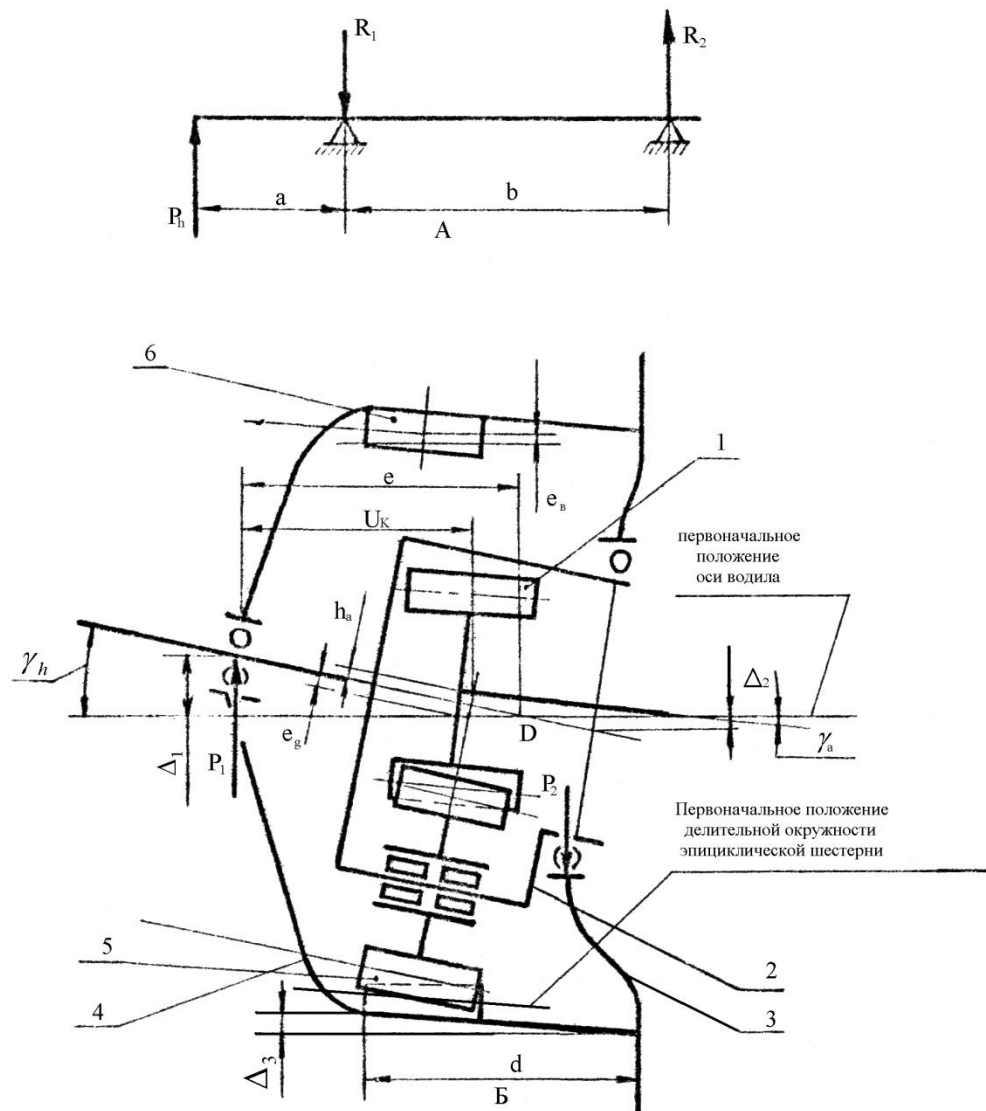


Рис. 1- Схема перекосов зубчатых колес планетарной передачи типа 2К-Н при нагружении водила радиальной силой: А – нагрузки, действующие на водило; Б – перекосы колес; 1,5,6 – зубчатые венцы солнечной шестерни, сателлита и эпициклической шестерни соответственно; 2 – водило; 3 – крышка картера; 4 – картер

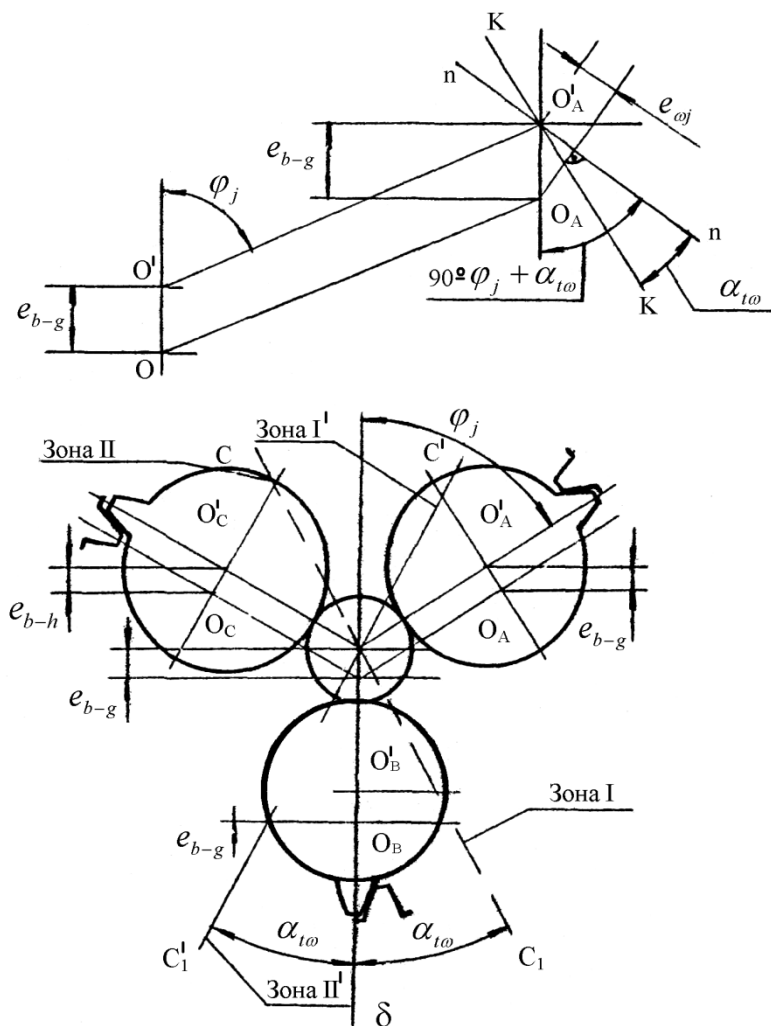


Рис. 2 - Схема образования боковых зазоров в зацеплениях сателлитов эпициклической шестерней при нагружении водила радиальной силой:

O, O_A, O_B, O_C - геометрические центры соответственно водила, сателлитов А, В и С до нагружения водила радиальной силой; O', O'_A, O'_B, O'_C - геометрические центры соответственно водила, сателлитов А, В и С при нагружении водила радиальной силой; n - n контактная нормаль зубьев, K - K - перпендикуляр к линии зацепления

Список литературы

1. Горгоц К.Г., Эрнст А.Ю. Экспериментальное определение неравномерности нагружения сателлитов планетарного бортового редуктора быстроходной гусеничной машины// Проблемы и достижения автотранспортного комплекса / Сборник материалов 7-й Всероссийской научно-технической конференции.-Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009.-С. 59-69.
2. Передачи зубчатые планетарные с цилиндрическими колёсами. Расчёт на прочность передач основных типов. Методические рекомендации МР 104-84. – М.: Госстандарт, 1984. - 192с.
3. Планетарные передачи. Справочник. Под ред. докторов техн. наук В. Н. Кудрявцева и Ю. Н. Кирдяшева.- Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. - 536 с. (стр.238).

05.13.06

М.А. Гордеев – Бургвиц

Московский государственный строительный университет,
кафедра «Электротехники и электропривода», Москва, dr.gordeev@mail.ru

СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ТЯГИ ДРАГЛАЙНА ПО ОТКЛОНЕНИЯМ ПОДЪЕМНОГО И ТЯГОВОГО КАНАТОВ ОТ ЗАДАННОЙ ТОЧКИ РАЗГРУЗКИ

В работе рассмотрен способ автоматического управления электроприводом тяги мощных шагающих экскаваторов - драглайнов по отклонениям подъемного и тягового канатов от заданной точки разгрузки на основе найденного алгоритма управления и устройство для его реализации.

Ключевые слова: драглайн, системы управления приводами, автоматическое транспортирование, ковш.

В строительной индустрии и в горной промышленности широкое применение нашли шагающие экскаваторы, при этом выпускаются все более мощные шагающие драглайны ЭШ 100.120, ЭШ 100.100, ЭШ 65.100, ЭШ 40/85, ЭШ 75.85, ЭШ 25/100, ЭШ 20/90, ЭШ 15/90 с увеличенными габаритами стрелы и ковша, увеличенными рабочими скоростями и ускорениями, что приводит к усложнению управляющих функций машиниста драглайна, т.к. ему, постоянно в напряженном режиме (ночью, в туман, ненастье, близкий отвал, удаленная точка отрыва ковша в забое) и в течение всей рабочей смены приходится контролировать положение ковша относительно стрелы, забоя и отвала на все более удаленных от него расстояниях. Особую актуальность приобретает вопрос безопасности при работе мощных шагающих драглайнов и исключение и недопущение различных аварийных режимов, особенно режима растяжки ковша, возникающий по ошибке машиниста драглайна в процессе транспортирования ковша по близким к стреле траекториям. При попадании в зону растяжки, ковш будет растянут двумя канатами, на которых он висит и автоматически последует удар по стреле, что приведет к ее падению. В МГСУ ведутся работы по автоматизации мощных шагающих драглайнов [1,2], обеспечивающих автоматический подъем и опускание ковша по заданным траекториям и исключаящих заход ковша в аварийные зоны растяжки, переподъема и перетяги. Для обеспечения безопасного режима работы шагающего драглайна и повышения эффективности его работы в МГСУ был изобретен способ управления электрическим приводом тяги драглайна [3], на основе которого строится автоматическая система транспортирования ковша, которая должна обеспечивать автоматическое перемещение ковша из забоя к точке разгрузки и обратно по заданным траекториям без вмешательства машиниста и тем самым исключать потенциальную опасность захода ковша в зону аварийного режима растяжки, поскольку ковш будет всегда двигаться по заданным траекториям в автоматическом режиме ниже зоны растяжки и при этом функция машиниста драглайна заключается только в визуальном контроле за движением ковша по заданным траекториям и без каких либо манипуляций машиниста с командоаппаратами. При разработке указанного способа управления были проанализированы все известные способы управления электроприводами драглайна, например, способ, заключающийся в определении длительности цикла, установившихся скоростей и формировании управляющих сигналов. Недостатком этого способа является его сложность. Наиболее близким по технической сущности является способ, заключающийся в том, что измеряют длины подъемного и тягового канатов и подают управляющий сигнал в систему управления приводом тяги в функции длин каналов. Недостатком этого способа является низкая надежность управления в результате того, что положение траектории подъема

ковша относительно стрелы зависит от точки отрыва ковша, а т. к. эти траектории являются кривыми 2-го порядка, то следовательно при подъеме ковша из дальней точки он может попасть в зону саморазгрузки. Для исключения этого ковш необходимо подтягивать ближе к блокам наводки, что отрицательно скажется на производительности машины. К другим недостаткам известного способа относится его сложность, так как для его реализации требуются достаточно громоздкие и сложные устройства, что в конечном итоге увеличивает его стоимость, снижает надежность и затрудняет эксплуатацию. Целью изобретения данного способа управления является повышение безопасности работы мощного шагающего экскаватора – драглайна, его производительности и надежности управления. Поставленная цель достигается тем, что одновременно определяют сигналы отклонения подъемного и тягового канатов от заданной точки разгрузки ковша и формируется управляющий сигнал на привод тяги по алгоритму: $A = K D_{1p} - D_{1t}$, где, A - управляющий сигнал; D_{1p}, D_{1t} - отклонение соответственно подъемного и тягового канатов от заданной точки разгрузки; K - коэффициент передачи сигнала отклонения подъемного каната от заданной точки разгрузки, при этом коэффициент передачи сигнала отклонения подъемного каната от заданной точки разгрузки выбирают в пределах 0,5 - 1. Сущность способа заключается в следующем. Одновременно измеряют два сигнала. Один сигнал пропорционален отклонению тягового каната от заданной точки разгрузки ковша. Другой сигнал пропорционален отклонению подъемного каната от той же точки разгрузки ковша. При этом для задания положения траекторий подъема ковша относительно стрелы изменяют коэффициент передачи последнего сигнала в ограниченном диапазоне в пределах 0,5-1. После этого путем суммирования указанных двух сигналов с противопоставленными знаками формируют управляющий сигнал, который подают в систему управления приводом тяги, осуществляя тем самым автоматический подъем ковша по выбранной траектории. На рис. 1 показана схема устройства, реализующего данный способ управления электроприводом тяги драглайна.

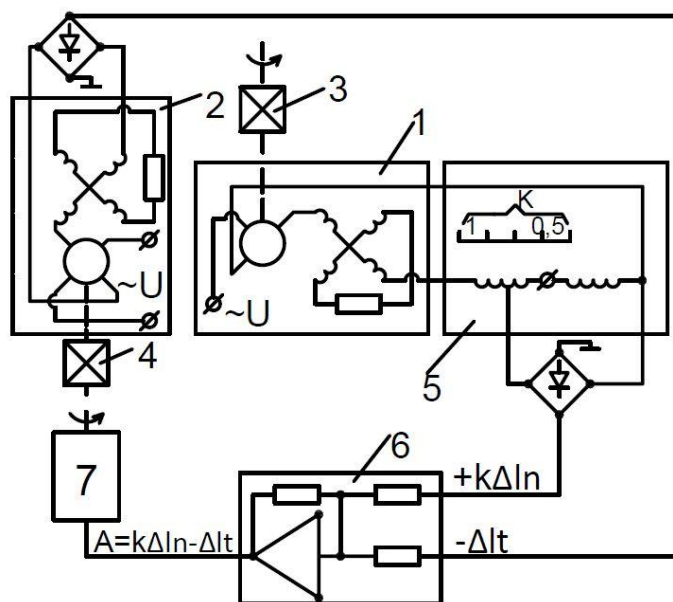


Рис. 1- Схема устройства, реализующего способ автоматического управления электроприводом тяги мощных шагающих экскаваторов драглайнов по отклонениям подъемного и тягового канатов от заданной точки разгрузки

Устройство включает в себя датчик 1, 2 отклонения подъемного и тягового канатов от заданной точки разгрузки, соединенные с валами соответствующих лебедок через понижающие редукторы 3, 4; элемент 5 для изменения коэффициента передачи выходного сигнала датчика 1 и блок суммирования 6, выход которого подключен к управляющим

цепям привода тяги 7. В качестве датчиков 1, 2 можно использовать линейные вращающиеся трансформаторы или аналогичные элементы, измеряющие угловые перемещения. Элемент 5 устанавливается на пульте управления и может выполняться на базе любого элемента, осуществляющего изменение коэффициента передачи проходящего через него сигнала. Например, автотрансформатор или потенциометр. Блок суммирования выполняется на базе стандартного операционного усилителя. Изменением коэффициента передачи K можно изменять положение траекторий в рабочей зоне драглайна от наиболее близкой к стреле (вдоль границы зоны растяжки) до наиболее удаленной от стрелы (вдоль границы зоны разгрузки). Траектория приближается к стреле при увеличении коэффициента K и удаляется от стрелы при его уменьшении. Положению траекторий в рабочей зоне соответствуют значения коэффициента передачи первого сигнала K в пределах 0,5 - 1, что практически для всех типов драглайнов обеспечивает надежное положение траекторий в пределах рабочей зоны. Настраивается система в точке разгрузки ковша путем установления нулевого управляющего сигнала на выходе блока суммирования 6 соответствующей установкой датчиков 1, 2. В начале подъема ковша привод подъема 9 включается на максимальную скорость, обеспечивая при этом минимальное время подъема независимо от положения ковша в забой, а привод тяги 7 автоматически обеспечивает перемещение ковша к заданной траектории и дальнейшее движение по ней без вмешательства машиниста. Если в процессе подъема ковша к месту разгрузки происходит отклонение ковша от заданной траектории, то на выходе блока суммирования 6 появляется сигнал, управляющий приводом тяги таким образом, что ковш возвращается на заданную траекторию с точностью, определяющейся статизмом системы. Настоящий способ управления выгодно отличается от известных своей простотой, так как упрощается получение и преобразование сигналов, что упрощает его реализацию и требуется значительно меньшее количество элементов. Данный способ управления обеспечивает: повышение надежности управления за счет исключения выхода ковша за пределы рабочей зоны, например - в зону саморазгрузки; поддержание максимальной производительности машины за счет того, что подъем ковша всегда можно осуществить с максимальной скоростью в любых неблагоприятных условиях.

Список литературы

1. Авторское свидетельство на изобретение № 1433100, 22 июня 1988 // *Ткаченко В.Я., Гордеев М.А., Чанов Л.Г., Финагенова Ю.В., Ольховиков В.В., Березин В.В., Холкин В.А., Ермолин В.В.*
2. *Гордеев - Бургвиц М.А.* Экспериментальные исследования САУ электроприводом тяги автоматического транспортирования ковша в функции нагрузок приводов на действующем драглайне ПО «УРАЛМАШ». Механизация строительства. 2012. № 12 (822). С. 24 – 25.
3. *Гордеев-Бургвиц М.А.* Система автоматического управления приводом тяги шагающих драглайнов МК«УРАЛМАШ» по отклонениям подъемного и тягового канатов от заданной точки разгрузки // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы: труды XV Москов. междуна. науч.-техн. конф., Москва, 2012 г.: Изд-во МИИТ, 2012. С. 117-118.

05.13.11

Т.А. Деменкова, Е.Ф. Певцов, Л.В. Твердохлебов

Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, Центр проектирования интегральных схем, устройств нанoeлектроники и микросистем, Москва, demenkova@mirea.ru, pevtsov@mirea.ru

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

В работе рассматривается задача определения границ объекта на цифровом изображении. Предложен алгоритм с использованием модели активных контуров с помощью маски преобразования расстояний. Алгоритмическая реализация модели позволяет проводить исследования в виде тестирования на разных наборах изображений.

Ключевые слова: *цифровое изображение, определение границ объекта, алгоритм активных контуров.*

Существуют различные методы определения границ объектов на изображении. Среди этих методов самым популярным классом является широко используемая модель активных контуров, основанная на эволюции контурной кривой. Оригинальная модель активных контуров хорошо показала себя в применении к сегментированию объектов, когда область сегментирования состоит из всего изображения или определена случайно. В настоящей работе рассматриваются варианты, когда область изначально задана пользователем или предыдущим алгоритмом. В этом случае от алгоритма требуется подстроить начальную кривую в зависимости от информации, извлечённой из изображения. Предложен алгоритм с использованием маски с преобразованием расстояний вместо градиентной маски, применяемой в оригинальном алгоритме.

Идея модели активных контуров состоит в эволюции кривой на основе информации, извлечённой из изображения, с целью определения объектов на этом изображении [1]. Кривая эволюционирует в направлении минимизации внутренней энергии и должна остановиться на границе объекта.

Пусть Ω ограниченное открытое множество $\mathbb{R}^2$, где $\partial\Omega$ его граница. Пусть $u_0: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ это данное изображение и $C(s): [0,1] \rightarrow \mathbb{R}^2$ параметризованная кривая. В классической модели активных контуров используется детектор границ, основанный на градиенте изображения. Этот детектор останавливает эволюцию кривой на границе желаемого объекта.

Рассмотрим модель «змей» $\inf_C J_1(C)$, где

$$J(C) = \alpha \int_0^1 |C'(s)|^2 ds + \beta \int_0^1 |C''(s)| ds - \lambda \int_0^1 |\nabla u_1(C(s))|^2 ds,$$

Здесь α, β, λ - положительные параметры. Первый и второй элементы контролируют гладкость контура (внутреннюю энергию), в то время как последний толкает контур в направлении объекта на изображении. Обратим внимание на то, что минимизируя энергию, мы стараемся нарисовать кривую в точки максимума $|\nabla u_0|$, ведя себя очень похоже на детектор границ, но в то же время, сохраняя гладкость и протяжённость кривой [2]. Общий детектор границ может быть определен положительной убывающей функцией $g(z)$, зависящей от градиента изображения, для которой $\lim_{z \rightarrow \infty} g(z) = 0$. Например,

$$g(|\nabla u_0(x,y)|) = \frac{1}{1 + |\nabla G_\sigma(x,y) * u_0(x,y)|^p}, p \geq 1,$$

где $G_\sigma * u_0$, сглаженная версия u_0 , является свёрткой изображения u_0 с гауссианом

$$G_\sigma(x,y) = \sigma^{-1/2} e^{-|x^2+y^2/4\sigma|},$$

причем $g(|\nabla u_0|)$ положительна в однородных областях и равна нулю на границах. Алгоритм, реализующий модель активных контуров, работает итеративно. В каждой

итерации происходит эволюция кривой в направлении, где кривая будет иметь меньшее энергетическое распределение.

Предлагается использовать подход с применением маски преобразованных расстояний вместо градиентной маски в оригинальной модели. Новая модель:

$$J(C) = \alpha \int_0^1 |C'(s)|^2 ds + \beta \int_0^1 |C''(s)| ds - \lambda \int_0^1 |\bar{d}(x, f)|^2 ds$$

где

$$\bar{d}(x, f) = \int_0^\infty (\sup f - (f \oplus B_s)(x)) ds$$

Монотонное полухромовое преобразование расстояния изображения может быть обобщено в виде:

$$\bar{d}(x, F) = \min\{p(x, y) : y \in F\},$$

где $p(x, y)$ - евклидово расстояние между x и y или модификация дискретной сетки.

Обозначим $d(x, F)$ как преобразование евклидова расстояния, чтобы отличать его от других возможных обобщений [3]. Среди этих обобщений можно упомянуть квадратичное расстояние:

$$\bar{d}_2(x, F) = \min\{p^2(x, y) : y \in F\} = d(x, F)^2$$

и преобразование расстояния с учётом знака:

$$\bar{d}_s(x, F) = d(x, F) - d(x, F^c),$$

которое эквивалентно разности преобразования евклидова расстояния F и его дополнения F^c . Общее определение функций метрики расстояния определяется в приложении к усреднению случайных множеств и бинарных изображений. Применяя сетчатое приближение (или приближение диагонального сопряжения) к евклидовому расстоянию, становится возможным разработка эффективных и быстрых алгоритмов, пригодных для вычисления преобразования расстояний.

Результат вычисления градиентной маски вместе с монотонной полухромовой маской преобразования расстояния изображения представлен на рис.1. Границы второй маски гораздо менее значимы и с приближением в центре изображения значимость маски возрастает. В оригинальной модели активных контуров кривая эволюционирует на основе информации о границах объекта. Такой подход эффективен в случае хорошего контраста на границе. С маской преобразования расстояния модель принимает к сведению не только граничную информацию, но также и информацию обо всем теле интересующей области.

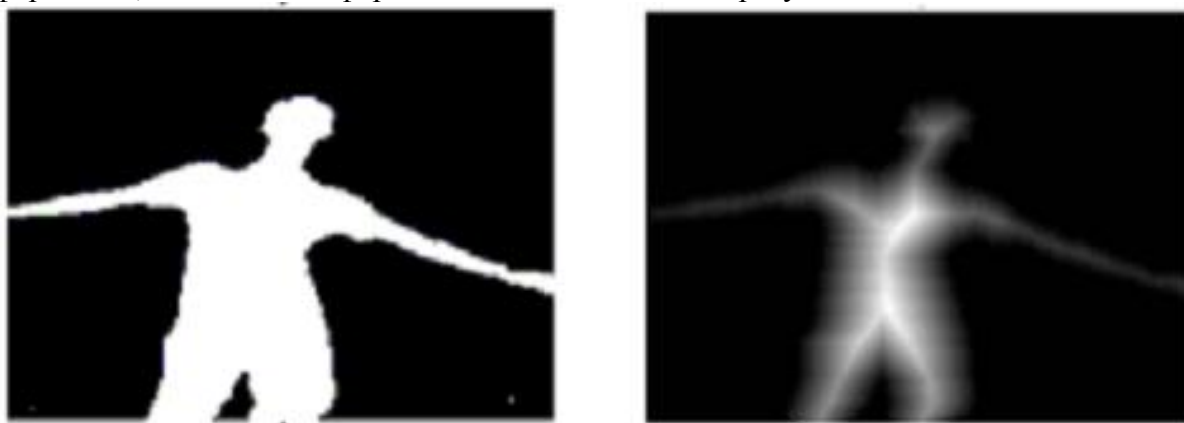


Рис. 1. Градиентная маска и маска преобразования расстояния

Другим возможным улучшением модели является добавление взвешенного преобразования расстояний. Пусть f полухромовое изображение, при этом подразумевается, что полухромовые изображения полунепрерывны сверху и состоят из оттенков серого из области $[0, 1]$. 0 здесь представляет низкие (тёмные) значения серого и 1 представляет

высокие (светлые) значения. Обычный путь представления серых значений $0, 1, \dots, 255$ может всегда быть сокращён к значениям серого из $[0, 1]$ путём линейного изменения масштаба. Область определения f обозначим как W . Эта область представляет собой закрытое подмножество евклидова пространства R^d с размерностью d . Обычно плоский случай определяется с $d = 2$ и W рассматривается как прямоугольник в R^2 , который в частном случае представляет собой весь R^2 .

Известно, что f полунепрерывна сверху, следовательно, её пороговое множество $F_t = \{x \in W: f(x) \geq t\}$ является закрытым подмножеством W . Если U случайное значение, то F_U становится случайным закрытым подмножеством W .

Подмножество F_U представляет собой так называемое случайное подмножество, связанное с f . Распределение U полностью описывает тип весового коэффициента, связанного с конкретными значениями серого.

При этом можно выделить два случая:

1. Модель с распределёнными весами, где U равномерно распределена на $[0, 1]$.
2. Модель с гистограммным взвешиванием, в случае, если U распределена согласно гистограмме f так, что

$$P\{U \geq t\} = \mu(F_t) / \mu(W)$$

с μ - лебеговой мерой на W (область в случае плоскости, число пикселей в дискретном случае).

В данной работе предложено усовершенствование модели активных контуров с помощью маски преобразования расстояний. Предложенный алгоритм может быть эффективно интегрирован в процессы, в которых алгоритму будет передан ввод пользователя с неточными контурами или алгоритму будет передан результат работы алгоритма первой стадии, который найдет предварительный контур. Алгоритмическая реализация предложенной модели позволяет проводить исследования в виде тестирования на разных наборах изображений для получения более значимых результатов [4].

Основным преимуществом предложенной методики обработки сигналов является возможность не только обозначить объект на изображении, основываясь на его границах, но также возможность учесть размер и форму объекта, заданного маской.

Список литературы

1. Demetri Terzopoulos, Andrew Witkin, Michael Kass. Snakes. Active Contour Models. International Journal of Computer Vision, 1988.
2. Michael Rudzsky, Ehud Rivlin, Ron Kimmel, Roman Goldenberg. Fast Geodesic Active Contours. IEEE Transactions on Image Processing, vol. 10, no. 10, October 2001.
3. Gunilla Borgefors. Distance Transformations in Digital Images. Computer Vision, Graphics, and Image Processing. 1986.
4. Деменкова Т.А., Твердохлебов Л.В. Программа алгоритма выявления общей области в наборе контуров. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616191. Дата регистрации 16.06.2014 г.

05.13.10

О.В. Дмитриева

Сибирский государственный индустриальный университет,
Институт экономики и менеджмента, кафедра корпоративной экономики и управления
персоналом, Новокузнецк, dmtov@mail.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ВУЗЕ

В работе представлены методические особенности применения информационных технологий для управления образовательным учреждением. Выделены составляющие элементы информационной системы вуза и приведена структура информационных технологий поддержки принятия управленческих решений в вузе.

Ключевые слова: *информационные технологии, поддержка принятия решений, вуз.*

В настоящее время ускорение темпов научно-технического прогресса и совершенствование технологий обработки информации влечет за собой увеличение потребностей в применении информационных технологий для поддержки принятия управленческих решений в сфере высшего образования [1]. Внедрение информационных технологий возможно для комплексного решения функциональных задач в сфере высшего образования [2], формирования регулярной отчетности для различных министерств и ведомств, а также в информационно-справочном режиме.

Среди основных задач ИТПР – информационная поддержка реализации функции управления, которая может быть решена посредством четкого и слаженного движения информационных потоков в вузе. Для поддержки принятия решений информационные технологии в сфере образования предусматривают использование экономико-математических и экспертных методов, для аналитической работы и формирования долгосрочных и краткосрочных прогнозов альтернатив развития вуза. Таким образом, применение информационных технологий при управлении образовательным учреждением позволит создать руководству вуза наиболее благоприятные условия для выполнения функций управления за счет максимально возможной эффективности использования имеющегося инструментария (механизмы, процедуры, модели и т.д.) для поддержки принятия управленческих решений в современных быстроизменяющихся условиях функционирования.

Учитывая специфику функционирования образовательного учреждения информационная система вуза состоит из элементов, представленных на рисунке 1.

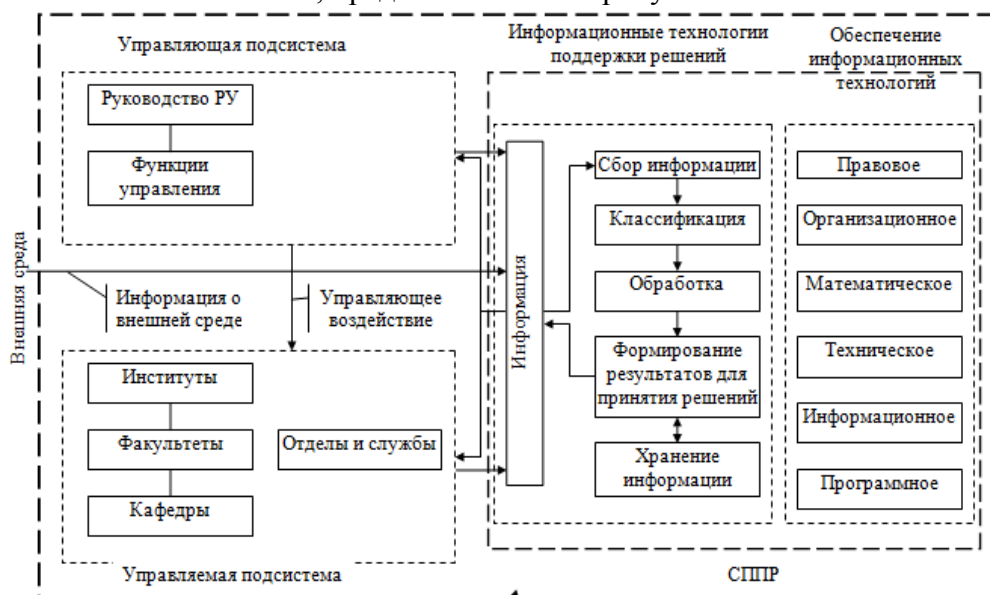


Рисунок 1 – Структура информационных технологий поддержки принятия управленческих решений в вузе

Информационная система вуза представлена управляющей (руководство вуза и осуществляемые им функции управления: планирования, организации, контроля и мотивации) и управляемой (институты, факультеты, кафедры, отделы и службы) подсистемами, информацией, а также экономико-математическими методами и средствами ее технологической обработки [2]. Взаимодействие управляющей и управляемой подсистем осуществляется посредством системы поддержки принятия решений (СППР), которая через сбор и анализ данных может быть использована в процессе подготовки принятия решений в вузе.

Информационные технологии поддержки принятия решений (ИТППР) в сфере образования представляют собой человеко-машинную систему, в состав которой входит модель, формализующая процессы обработки информации. Представленные на рисунке 1 ИТППР образуют и перерабатывают информационные потоки, являясь связующим звеном между управляющей и управляемой подсистемами, и обеспечивают управляющую подсистему информацией, необходимой для принятия решений, в части реализации эффективного взаимодействия лиц, принимающих и формирующих решения, для оперативного и стратегического управления. Данные в системе подвергаются всем процедурам преобразования информации, хотя в некоторых случаях часть процедур может отсутствовать. Рассмотрим процедуры преобразования информации, входящие в информационные технологии поддержки принятия решений в вузе:

- сбор информации. Наибольшую сложность при реализации процедуры представляет процесс получения достоверной, полной и своевременной первичной информации, в том числе посредством применения процедур стимулирования;
- классификация информации. Процедура предполагает деление информации на группы по различным признакам, к примеру, по сферам деятельности (информация характеризующая образовательный процесс: контингент студентов, штат преподавателей, сведения о научных и учебно-методических работах). Также целесообразно разделять информацию по степени важности, по сроку хранения и периодичности обновления;
- обработка информации. В зависимости от типа информации может быть осуществлена аналитическая обработка, моделирование, прогнозирование, сжатие и прочее;
- формирование результатов для принятия решений. После завершения процедуры обработки информации формируются отчеты и сводки, которые поступают в управляющую и управляемую подсистему, что позволяет обеспечить эффективное взаимодействие лиц, принимающих и формирующих решения;
- хранение и накопление информации. Необходимость данной процедуры вызвана многократным использованием информации и необходимостью в ретроспективной информации для отслеживания динамики и формирования сценариев. Для реализации данной процедуры целесообразно использовать базы данных и информационные массивы.

В результате применения информационных технологий формируются исходные данные, необходимые для прогнозирования в целях принятия решений руководством вуза посредством поиска из множества допустимых оптимальных, либо рациональных решений с учетом ресурсных ограничений (трудовых, материальных, финансовых и т.д.).

Для функционирования информационных технологий поддержки принятия управленческих решений в вузе необходимыми являются следующие виды обеспечений:

- правовое обеспечение – совокупность правовых норм, регламентирующих документов и правовых актов;
- организационное обеспечение – комплекс документов и процедур, регламентирующих деятельность вуза и взаимоотношения между структурными подразделениями, деятельность персонала вуза в условиях функционирования ИТППР;

- математическое обеспечение представляет собой комплекс моделей и алгоритмов обработки информации, средств моделирования процессов управления, методов решения задач управления вуза, методов оптимизации принятия решений [4];

- техническое обеспечение включает в себя совокупность технических средств сбора, обработки, отображения и распределения информации;

- информационное обеспечение призвано отображать информацию, характеризующую состояние вуза с помощью баз данных и знаний, систем показателей и их объемно-временных характеристик;

- программное обеспечение представляет собой совокупность программных продуктов, посредством которых реализуются функции и задачи ИТППР.

Основой предлагаемых ИТППР является перераспределение функций при принятии решений между руководством вуза и информационной системой, следствием является формирование системы автоматического решения управленческих задач, т.е. без участия человека. Содержание ИТППР заключается в преобразовании процессов управления в вузе с целью их оптимизации посредством интеграции руководства и информационной системы и передачи части функций управления в автоматический режим обработки. Вследствие применения ИТППР рутинные операции процессов управления полностью осуществляются за счет компьютерной обработки в автоматическом режиме: постоянный контроль за протеканием процессов оказания образовательных и научно-исследовательских услуг, сбор, накопление и обобщение информации по сферам деятельности вуза, прогнозирование спроса на услуги и т.д. В этом случае роль руководства вуза при принятии решений сводится к контролю и реализации функций управления, требующих нестандартных методов решения или творческого подхода к решению проблемы.

Таким образом, основной целью ИТППР является повышение результативности управленческих процессов в вузе за счет выделения типовых ситуаций и управленческих решений оптимальных (либо рациональных) в этих ситуациях. Что несомненно оказывает влияние на качество образовательных услуг, повышение эффективности функционирования вуза в целом; снижение затрат и увеличение скорости реакции вуза на изменения рыночной среды, включая требования потребителей услуг и государственные стандарты.

Список литературы

1. Волкова Т.А. К вопросу об использовании систем электронного документооборота в учебном процессе вуза / Т.А. Волкова, С.В. Морин // Современные вопросы теории и практики обучения в вузе: сборник научных трудов ; СибГИУ. – Новокузнецк, 2009. – Вып. 9. – С. 64 – 67.
2. Феоктистов А.В. Методика оценки удовлетворенности работодателя уровнем подготовки специалистов в вузе / А.В. Феоктистов, И.Ю. Кольчурина, Т.А. Волкова // Менеджмент качества в образовании: материалы III Всероссийской научно- практической конференции / Санкт- Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова. – Санкт-Петербург, 2010. – Том 1. – С. 107 – 109.
3. Дмитриева О.В. Региональный университет как система управления/ О.В. Дмитриева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М, 2010. - №5. – С. 14-17.
4. Дмитриева О.В. Исследование систем управления деятельностью высших учебных заведений / О.В. Дмитриева, В.Н. Фрянов. – Новокузнецк: изд-во СибГИУ, 2010. – 143 с.

05.02.02

А.Ю. Дуженко

кафедра маневрирования и управления судном Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, duzhenko.arthur@mail.ru

ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ СУДОВ ТИПА РО-РО И ЛО-РО, ПЕРЕВОЗЯЩИМ ОПАСНЫЕ ГРУЗЫ КЛАССА 7.(НА ПРИМЕРЕ ГРУЗОВЫХ СУДОВ КОМПАНИИ «АТЛАНТИК РО-РО КЭРРИЕРС, ИНК »)

Развитие и широкое использование технологий на основе радиоактивных материалов сопровождается интенсивными перевозками радиационных грузов. Для минимизации возможных рисков необходимо неукоснительно соблюдать все предусмотренные в этом случае действующие правила. В статье изучен вопрос соответствия судов типа Ро-Ро и Ло-Ро требованиям, предъявляемым к судам перевозящим опасные грузы класса 7.

Ключевые слова: *опасный груз класса 7, транспортировка, морские суда типа Ро-Ро и Ло-Ро, технические требования, грузовое помещение, контейнеровоз, ролкер, МК МПОГ.*

Развитие и широкое использование технологий на основе радиоактивных материалов сопровождается интенсивными перевозками радиационных грузов. Ежегодно в мире транспортируется около 10 млн упаковок с радиоактивными веществами различного вида [1]. При этом возможны аварии, влекущие катастрофические последствия. Обеспечение безопасности транспортирования радиоактивных веществ и изделий на их основе имеет большое значение в связи с наличием потенциального риска нанесения ущерба людям, окружающей среде и имуществу в процессе их перевозки, выполнения погрузочно-разгрузочных операций и промежуточного хранения.

Транспортировка радиоактивных веществ морскими судами является высоко рентабельным и наиболее безопасным способом перевозки опасных грузов класса 7. Однако для минимизации возможных рисков необходимо неукоснительно соблюдать все предусмотренные в этом случае действующие правила.

Таким образом, соблюдение требований установленных к судам, перевозящим опасные грузы класса 7 имеет важное значение. Этим и объясняется актуальность исследования.

Целью данной научной работы является анализ соответствия судов типа Ро-Ро и Ло-Ро, перевозящих радиоактивные материалы требованиям, предъявляемым к судам, перевозящим опасные грузы класса 7 в соответствии с Правилами морской перевозки опасных грузов (МОПОГ) и Международным кодексом морской перевозки опасных грузов Международной морской организации (МК МПОГ).

Уровень технических требований к судну при перевозке опасных грузов класса 7 определяется Правилами МОПОГ и МК МПОГ. Требования Правил II-2/54 МК СОЛАС-74/88 на судно, перевозящее опасные грузы класса 7 не распространяются. Рассмотрим степень соответствия действующих правил на примере судов конкретной компании «Атлантик Ро-Ро кэрриерс, инк»: Atlantic runner, Atlantic navigator, Baltic mercur, Atlantic trader, Atlantic nyala, Atlantic hope, Atlantic action, Atlantic dream, Atlantic eland, Atlantic impala.

Компания занимается перевозкой грузов, содержащих следующие ядерные материалы и радиоактивные вещества: гексафторид урана с обогащением по изотопу U-235 до 20 %; диоксид урана с обогащением по изотопу U-235 до 5 %; закись-окись природного урана; металлический уран с обогащением по изотопу U-235 до 20 %; ураносодержащие материалы с обогащением по изотопу U-235 до 5 %; гексафторид урана, полученный из природного или регедрированного урана с содержанием изотопа U-235 до 10 %; свежее ядерное топливо с обогащением по изотопу U-235 до 5 %; концентрат природного урана в виде закиси-окиси с

содержанием изотопа U-235 до 1 %; оксиды урана, полученные из природного урана или регенерированного урана с содержанием изотопа U-235 до 1 %. [2]

Для исследования степени соответствия Правилами МОПОГ к системам, оборудованию, конструкциям и дополнительному снабжению судна при перевозке опасных грузов класса 7 были рассмотрены следующие пункты МОПОГ: 3.1.1.1; 3.1.1.2; 3.1.1.3; 3.1.1.5; 3.1.1.8; 3.1.1.12; 3.1.1.13; 3.1.3; а также пункты МК СОЛАС-74/88: 54.2.1.1, 54.2.1.2, 53.1.2, 54.2.8, 54.2.6 (таблица 1.)

Таким образом, можно отметить, выполнение на данном судне всех технических требований к судам, перевозящим грузы класса 7: наличие автоматической системы обнаружения пожара в грузовых помещениях; водопожарная система судна постоянно готова к немедленному действию, имеется дистанционный пуск пожарных насосов из рулевой рубки, из ЦПУ и из судовой канцелярии.

При перевозке опасных грузов класса 7 к судну применяются особые требования по проверке достаточности производительности и напора пожарных насосов водопожарной системы судна.

Суммарная подача стационарных пожарных насосов должна обеспечивать подачу воды через ручные пожарные стволы при давлении у любого крана не менее 0,26 Мпа в количестве, в м³/ч.

$$Q = k \cdot m^2 \quad m = \sqrt{L \cdot (B + D)} + 25 = 138 \quad (1)$$
$$L = 140.1 \text{ м} \quad B = 19.2 \text{ м} \quad D = 13.1 \text{ м} \quad k = 0.008 \quad Q = 152.3 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расходы воды через один пожарный ствол:

$$q_c = \mu (\pi \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}) / 4 \quad (2)$$

d- диаметр пожарного ствола 0.016 м

μ - 0.98 - коэффициент расхода при диаметре 0.016 м

H – напор перед спрыском, м. вод. ст.

Суммарный расход через 4 ствола $Q_c = 4 \cdot q_c = 64 \text{ м}^3/\text{ч}$

Для подачи воды на судне используются два пожарных насоса суммарной производительностью 200 м³/ч, что обеспечивает требуемую подачу воды через четыре пожарных ствола с требуемым напором.

Требование по подаче воды в твиндек и на каждый контейнер с опасными грузами, стоящий на верхней палубе, от четырех пожарных стволов, как это требуется при перевозке опасных грузов, для тушения пожара которых применяется компактная струя, на судне выполняется.

Источники воспламенения в твиндеке отсутствуют, так как в них не проходит транзитных горячих трубопроводов. Электропроводка и электрооборудование, которые проходят в твиндеке, трюме и шахте подъемника в трюм, выполнены во взрывозащищенном исполнении.

Установленные на судне вытяжные вентиляторы выполнены во взрывозащищенном исполнении. Приемные и выходные отверстия вентиляторов снабжены защитными проволочными сетками, предотвращающими попадание искр.

Судно должно быть снабжено комплектами средств индивидуальной защиты кожных покровов и органов дыхания, приборами дозиметрического и радиационного контроля, автономными дыхательными аппаратами. В качестве примера, судно Atlantic nyala снабжено четырьмя комплектами полной защитной экипировки – перчатки, ботинки, комбинезон, фартук – стойкие к химическому воздействию, шлем, защитные очки, двумя автономными дыхательными аппаратами, средствами первой медицинской помощи, техническими средствами для проведения работ по дезактивации упаковочных комплектов и комплект для первичной обработки людей.

Переборки, отделяющие машинное помещение категории А от грузовых, должны иметь противопожарную изоляцию типа А-60. При всякой другой изоляции опасные грузы должны перемещаться на расстоянии не менее 3 м от переборок.

Таблица 1 - Требования Правил при перевозке опасных грузов класса 7.

№	№ пункта требования	Содержание пункта требования		Необходимость выполнения при перевозке опасных грузов класса 7(8)	Наличие на судне
	МОПОГ			на палубе	
1	3.1.1.2	Немедленная подача воды водопожарной системой		+	Обеспечена
2	3.1.1.3	Обеспечение подачи воды через четыре пожарные ствола		+	Обеспечена
3	3.1.1.5	Газовая система пожаротушения для грузовых помещений		+	Имеется система объемного хим. тушения и система пенотушения
4	3.1.1.12	Перекрытия типа А-60 или отстояние от ограничивающей конструкции не менее 3м		+	Имеется перекрытие типа А-60
5	3.1.1.14	Искрогасители		+	Имеются
6	3.1.3	Дополнительное снабжение	Дыхательными аппаратами	+	Обеспечено Имеется Имеется Обеспечено
7			Комплектами защитной одежды	+	
8	КТРП	Приборы дозиметрического контроля		+	
		Приборы радиационного контроля		+	

Особое внимание при транспортировке опасных грузов класса 7 уделяется наличию необходимых приборов дозиметрического контроля. Во время рейса судно ежедневно проводит замеры радиационного фона и немедленно информирует линию о всех изменениях. Для примера, на судне Atlantic nyala обеспечивается наличие приборов дозиметрического и радиационного контроля: Дозиметр ДРГ-01-Т(1шт); Радиометр РУП-1 (1 шт).

В заключении, на примере грузовых судов компании «Атлантик Ро-Ро кэрриерс, инк» можно сделать вывод о том, что суда типа RoRo и LoRo, полностью соответствуют техническим требованиям Правил МОПОГ и МК МПОГ, предъявляемым к судам перевозящим опасные грузы класса 7 и позволяют обеспечить процесс транспортировки радиоактивных веществ различного вида наиболее безопасным способом.

Список литературы

1. Чиняев И.А. Судовые системы. / И.А. Чиняев. - М.: Транспорт, 1994.- 203.
2. Программа радиационной защиты для судов компании «Атлантик Ро-Ро кэрриерс, инк». – Санкт-Петербург, 2013.

05.23.05

Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Технологический факультет, кафедра «Технологии строительных материалов и деревообработки»,
Пенза, n_eroshkina@mail.ru

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ БАЗЕ

Анализируются результаты исследования геополимерных вяжущих на базе магматических горных пород. Сформулированы требования к сырью, технологии и условиям эксплуатации этих строительных материалов.

Ключевые слова: геополимерные вяжущие, бетон, строительный материал, ресурсосбережение, отходы добычи магматических горных пород.

Разработка и совершенствование геополимерных материалов относится к числу наиболее перспективных направлений создания ресурсосберегающих технологий строительных материалов. Синтез структуры геополимеров происходит в результате сложных химических и физико-химических процессов, протекающих в алюмосиликатных материалах при воздействии на них щелочных или кислотных водных растворов [1]. Отсутствие в технологии геополимерных вяжущих высокотемпературного обжига позволяет значительно снизить энергетические затраты и выбросы углекислого газа в атмосферу при их производстве в сравнении с технологиями традиционных строительных материалов [1, 2]. Кроме того, в технологии геополимерных материалов возможно использование в качестве сырья многотоннажных промышленных отходов алюмосиликатного состава, таких, как металлургический шлак, зола ТЭС, пыль газоочистки, отходы добычи и переработки горных пород, обогащения руд и др., что позволяет решить экологические проблемы, связанные с хранением отходов, а также с добычей сырья для традиционных строительных материалов.

1. Выбор сырьевых материалов для производства геополимеров. В зависимости от сырьевых материалов Davidovits [1] классифицирует геополимеры на основе:

- шлака;
- горных пород;
- ферросиликатов.
- золы-уноса или золы-уноса и шлака.

На ранних этапах разработки геополимеров в качестве сырья использовались каолины, полевые шпаты, которые после термической обработки при 750 °С затворялись растворами силикатов натрия и калия. Получаемые при этом материалы характеризовались высокой прочностью, коррозионной стойкостью и жаростойкостью. Однако из-за дороговизны сырья геополимеры на основе термически обработанных природных минералов получили ограниченное распространение в строительстве в качестве специальных материалов.

Наиболее перспективным сырьем для производства геополимерных материалов строительного назначения признаются зола ТЭС и металлургические шлаки. Эти промышленные отходы в процессе производства подвергаются высокотемпературному нагреву и быстрому охлаждению, способствующему формированию слабозакристаллизованных или стекловидных фаз, что обуславливает высокую реакционную способность этих промышленных отходов по отношению к щелочным растворам.

Исследованиями установлено [3, 4, 5], что на основе измельченных магматических горных пород возможно получение геополимеров с достаточно высокими технико-строительными характеристиками. В качестве сырья могут быть использованы как излившиеся [3], так и

глубинные [4, 5] породы. К преимуществам этой сырьевой базы производства геополимерных строительных материалов относится возможность использования значительных объемов пылевидных отходов добычи и дробления щебня из магматических горных пород. Объемы образования этих отходов только в России, по данным [6], могут составлять от 8 до 14 млн тонн в год. При этом большая часть этих отходов не используется или используется неэффективно [7]. Кроме того, для производства геополимеров на основе горных пород могут быть использованы отходы рудообогащения алюмосиликатного состава.

Пылевидные отходы добычи горных пород имеют размер частиц менее 0,2 мм и должны доизмельчаться до удельной поверхности 300-400 м²/кг. При этом выбор должен производиться в пользу горных пород, характеризующихся лучшей измельчаемостью (см. рисунок).

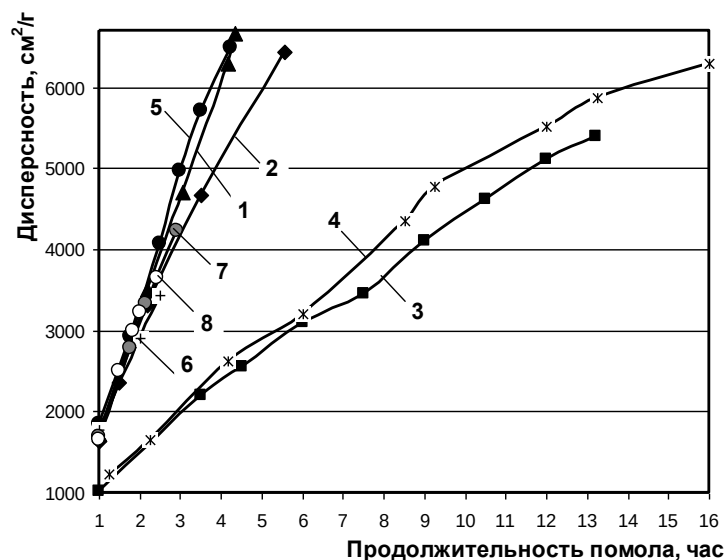


Рис. Размалываемость горных пород в лабораторной шаровой мельнице МЛ: обозначения:

1 – гранит Павловский; 2 – гранит Хребетский; 3 – перидотит; 4 – базальт; 5 – гранит розовый; 6 – гранит с роговой обманкой; 7 – гранит биотитовый; 8 – гранит плагиоклазовый

Для получения геополимеров на различной сырьевой основе используются модифицирующие добавки, наиболее эффективной и распространенной из которых является доменных гранулированный шлак.

Исследования вяжущих на основе различных горных пород, измельченных до удельной поверхности 350 м²/кг, активированных жидким стеклом, показали, что они твердеют только в условиях тепловлажностой обработки (ТВО). Замещение 25 % горной породы доменным гранулированным шлаком Новолипецкого металлургического комбината значительно повышает прочность вяжущего (табл. 1). Кроме того, введение этой добавки обеспечивает твердение вяжущего без ТВО.

Таблица 1 – Прочность вяжущих, приготовленных на различных горных породах с добавкой и без добавки шлака при различных условиях твердения

Наименование горной породы	Без добавки			С добавкой 25% шлака				
	Тепловлажностная обработка			Тепловлажностная обработка			Нормальные условия	
	60 °С	80 °С	105 °С	60 °С	80 °С	105 °С	3 сут	60 сут
Гранит Павловский	26,5	26,8	30,3	31,8	74,6	49,2	21,8	86,8
Гранит Хребетский	24,5	27,4	30,6	25,1	47,2	46,8	21,3	71,1
Перидотит	26,3	28,5	30,3	37,8	83,3	53,3	26,8	93,8
Базальт	28,5	29,3	36,4	38,8	68,6	58,8	19,4	63,4
Габбро-диабаз	30,6	33,2	35,8	35,5	60,5	45,2	16,1	60,8
Дациит	22,3	33,2	38,0	37,1	67,5	55,1	19,6	66,0

Чрезвычайно важным изменением свойств вяжущего при введении в его состав шлака является повышение водостойкости, которая оценивается по коэффициенту размягчения – отношению прочности насыщенного водой материала к прочности сухих образцов (табл. 2).

Таблица 2 – Коэффициент размягчения для вяжущих без добавки и с добавкой 25% шлака

Добавка к вяжущему	Гранит Павловский	Гранит Хребетский	Перидотит	Базальт	Габбро-диабаз	Дациит
Без добавки	0,14	0,13	0,52	0,51	0,2	0,4
25 % шлак	1,23	1,05	1,26	1,4	1	1,12

Значения коэффициентов размягчения в табл. 2 позволяют отнести геополимерное вяжущее на основе горных пород без добавки шлака к вяжущим воздушного типа, а с добавкой шлака – к гидравлическим вяжущим. В связи с этим добавка доменного шлака является ключевым компонентом геополимерного вяжущего на основе магматических горных пород.

Для активации твердения геополимерных вяжущих используют щелочные компоненты. Наиболее высокие характеристики вяжущего достигаются при использовании низкоосновных силикатов натрия и калия [1]. Установлено, что с точки зрения получения высокой прочности и низкой усадки оптимальное значение силикатного модуля активатора твердения находится в пределах от 1,2 до 1,4 [8], что согласуется с данными [9].

Высокое содержание щелочи в активаторе обеспечивает растворение алюмосиликатных минералов, однако лишь незначительная часть этой щелочи входит в химическую структуру синтезируемого геополимера. Значительная часть щелочи находится в порах геополимера в свободном состоянии и может мигрировать на поверхность изделий, являясь причиной образования высолов. Для уменьшения вероятности этих негативных явлений в состав вяжущего рекомендуется вводить пуццолановые добавки, связывающие свободную щелочь [10].

Применение в качестве активатора горных пород щелочей – гидроокисей натрия или калия обеспечивает твердение вяжущего только при очень низком содержании воды, что позволяет формировать строительные изделия за счет прессования или вибропрессования [6].

2. Структурообразование и технология геополимерных материалов. По современным представлениям, геополимерные материалы образуются в ходе реакций геополимеризации алюмосиликатных соединений в сильнощелочной среде. Davidovits считает [1], что реакция получения геополимеров протекает в три стадии:

- на первой стадии происходит растворение оксидов кремния и алюминия в щелочной среде – концентрированном растворе NaOH или KOH;
- на второй – расщепление природных полимерных структур на мономеры;
- на третьей – схватывание и уплотнение вяжущего в результате превращения мономеров в полимерные материалы.

В твердеющих геополимерах постепенно образуются трехмерные алюмосиликатные структуры с эмпирической формулой



где М – атомы или катионы К, Na или Ca; n – степень поликонденсации; z равно 1, 2, 3 или более. Структуру материала образуют тетраэдры $[SiO_4]^{4-}$ и $[AlO_4]^{5-}$, связанные между собой кислородными мостиками. Соединения Si–O–Al замыкаются в цепи и кольца. Положительные ионы (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) компенсируют отрицательно заряженным четырехкоординатным Al.

Для повышения реакционной способности горных пород, таких, как каолин, полевошпат, они, по представлениям Davidovits [1] должны подвергаться тепловой обработке при температуре около 750 °С. По другим данным [2, 4, 7], тепловая обработка не является обязательным технологическим переделом для получения геополимеров на основе магматических горных пород.

Для обеспечения более полного взаимодействия между активатором и горной породой и минеральными добавками необходимо более тонкое измельчение сырьевых материалов. Однако достижение удельной поверхности более $400 \text{ м}^2/\text{кг}$ связано со значительными затратами энергии на помол, что снижает энергоэффективность технологии.

Отходы горной промышленности могут иметь значительную влажность в связи с этим целесообразна разработка технологии производства геополимерных материалов с использованием мокрого помола сырья с последующим добавлением в полученный сырьевой шлам активатора твердения. Мокрый помол позволит снизить затраты на измельчение и исключить из технологии сушку сырья.

После получения геополимерного вяжущего на его основе могут производиться бетоны, строительные растворы и другие материалы по технологиям, принятым на существующих заводах железобетонных конструкций и изделий [4, 8].

Твердение таких материалов может происходить по режимам, принятым на этих предприятиях, или в условиях строительной площадки в сроки, сопоставимые со сроками твердения традиционного бетона.

3. Свойства геополимерных строительных материалов.

Геополимерные вяжущие, полученные на основе измельченных до дисперсности $300...350 \text{ м}^2/\text{кг}$ магматических горных пород с $10...25 \%$ добавкой доменного гранулированного шлака и комплексного активатора в количестве $10...20 \%$, включающего натриевое жидкое стекло и гидроксид натрия, обладают прочностью при сжатии $40...90 \text{ МПа}$, усадкой не превышающей $1...1,5 \text{ мм/м}$, имеют водопоглощение $5...6,5 \%$, коэффициент размягчения $1...1,2$ [4, 8].

Бетон на геополимерном вяжущем на основе магматических пород при твердении в нормальных условиях может иметь прочность $20...40 \text{ МПа}$, усадку не более 1 мм/м , модуль упругости $20...50 \text{ ГПа}$ [4, 6]. Сопоставление результатов прочности и модуля упругости цементных и геополимерных бетонов, твердеющих в нормальных условиях в течение 28 сут, показывает, что при прочности геополимерного бетона 40 МПа и выше он не уступает по модулю упругости портландцементному бетону той же прочности. В ходе исследований морозостойкости бетона с перечисленными выше характеристиками было установлено, что этот материал выдерживает не менее 200 циклов насыщения-оттаивания при насыщении раствором хлорида натрия, что позволяет применять его для дорожного строительства.

Испытания железобетонных конструкций [4], изготовленных с применением геополимерного бетона, подтверждают возможность его использования в качестве конструктивного строительного материала. Бетоны и другие строительные материалы на основе геополимерного вяжущего, полученного при щелочной активации магматических горных пород могут быть использованы в качестве общестроительных конструктивных материалов в жилищном, промышленном и транспортном строительстве.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам (№ СП-858.2012.1).

Список литературы

1. *Davidovits J.* Geopolymer chemistry and applications. 3rd eddition. – France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2011. - 614 p.
2. *Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Ильина Т. А.* Оценка энерго- и ресурсосберегающей эффективности технологии геополимерных вяжущих на основе магматических горных пород / Низькоенергоємні в'яжучі, бетони і розчини: матеріали VIII науково-технічного семінару. - Рівне: Національний університет господарства та природокористування, 2013. Випуск 26. С. 144-150.
3. *Ахвердиева Т.А.* Безобжиговые щелочно-минеральные вяжущие и бетоны на основе Джабраильского вулканического пепла // Естественные и технические науки. 2009. № 2. С. 417–422.
4. *Ерошкина Н. А., Калашиников В.И., Коровкин М.О.* Минерально-щелочные вяжущие: монография. - Пенза: ПГУАС, 2012. 152 с.
5. *Bondar D, Lynsdale C.J., Milestone N.B, Hassani N. and Ramezaniapour A.A.* Effect of type, form and dosage of activators on strength of alkali-activated natural pozzolans. Cement and Concrete Composites. 2011. N 33 (2), February. pp. 251-260.
6. *Капустин Ф.Л., Лошкарев А. Б., Клевакин В. А.* Отсевы дробления горных пород: проблемы и пути решения [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.uralstroyinfo.ru/files/kapustin.doc>. Дата обращения 16.06.2014.
7. *Калашиников В.И.* Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов // Строительные материалы. 2008. №3. С. 20-22.
8. *Ерошкина Н.А., Коровкин М.О.* Ресурсосберегающие технологии геополимерных вяжущих и бетонов на основе отходов добычи и переработки магматических горных пород: моногр.- Пенза: ПГУАС, 2013. 152 с.
9. *Исакулов Б.Р.* Исследование свойств шлакощелочных вяжущих // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 6. С. 177-180.
10. *Barbosa V.F.F., MacKenzie K.J.D., Thaumaturgo C.* Synthesis and characterisation of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers // Intern. J. of Inorganic Materials. 2000. Vol. 2, № 4. P. 309—317.

05.13.06

В.А. Завьялов д.т.н., В.А. Величкин к.т.н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ФГОУ ВПО «МГСУ»)

Национальный исследовательский университет,
Москва, vazav@mgsu.ru, velyvol@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ

В работе представлены результаты систем с тепловыми процессами, которые характеризуются многомерной математической моделью, и с микропроцессорным управляющим устройством, реализующим пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования (ПИД). Исследования показали, что оптимизация системы по критерию энергетической эффективности и известной математической модели можно рассчитать параметры ПИД-регулятора, которые позволяют синтезировать систему управления (САУ), существенно снижающую влияние случайных помех на процесс управления.

Ключевые слова: оптимизация системы управления, критерий энергетической эффективности, случайные помехи.

Критерий энергетической эффективности с учетом действия помех представляется функционалом

$$\begin{aligned}
 J &= \int_0^T [X^T A^T + U^T B^T + F^T C^T] \cdot [AX + BU + CF] dt = \\
 &= \int_0^T [X^T A^T AX + U^T B^T AX + F^T C^T AX + X^T A^T BU + U^T B^T BU + F^T C^T BU + X^T A^T CF + U^T B^T CF + F^T C^T CF] dt.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Физические ограничения характеризуются зависимостью

$$AX + BU + CF - \dot{X} = 0. \tag{2}$$

Технологические ограничения:

$$X(0) = X_0; X(T) = X_T; U(\tau) \leq U_D. \tag{3}$$

Вспомогательный функционал в этом случае принимает вид

$$\begin{aligned}
 H &= X^T A^T AX + U^T B^T BU + F^T C^T CF + 2X^T A^T BU + 2X^T A^T CF + 2U^T B^T CF + 2\Lambda^T AX + 2\Lambda^T BU + 2\Lambda^T CF - 2\Lambda^T \dot{X},
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

где $2\Lambda^T$ – удвоенная транспонированная матрица множителей Лагранжа.

Необходимые условия оптимальности:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial H}{\partial X} - \frac{d}{d\tau} \left(\frac{\partial H}{\partial \dot{X}} \right) &= 0; \\
\frac{\partial H}{\partial U} - \frac{d}{d\tau} \left(\frac{\partial H}{\partial \dot{U}} \right) &= 0; \\
\frac{\partial H}{\partial F} - \frac{d}{d\tau} \left(\frac{\partial H}{\partial \dot{F}} \right) &= 0; \\
\frac{\partial H}{\partial \Lambda} - \frac{d}{d\tau} \left(\frac{\partial H}{\partial \dot{\Lambda}} \right) &= 0.
\end{aligned} \tag{5}$$

Применительно к рассматриваемому случаю необходимые условия имеют вид:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial H}{\partial X} &= 2A^T AX + 2A^T BU + 2A^T CF + 2A^T \Lambda + 2\dot{\Lambda} = 0; \\
\frac{\partial H}{\partial U} &= 2B^T AX + 2B^T BU + 2B^T CF + 2B^T \Lambda = 0; \\
\frac{\partial H}{\partial F} &= 2C^T AX + 2C^T BU + 2C^T CF + 2C^T \Lambda = 0; \\
\frac{\partial H}{\partial \Lambda} &= 2AX + 2BU + 2CF - 2\dot{X} = 0.
\end{aligned} \tag{6}$$

или

$$\begin{aligned}
A^T [AX + BU + CF + \Lambda] + \dot{\Lambda} &= 0; \\
B^T [AX + BU + CF + \Lambda] &= 0; \\
C^T [AX + BU + CF + \Lambda] &= 0; \\
AX + BU + CF - \dot{X} &= 0.
\end{aligned} \tag{7}$$

Если матрицы A^T , B^T , C^T невырожденные, то выражения в скобках равны нулю:

$$[AX + BU + CF + \Lambda] = 0. \tag{8}$$

Следовательно, производная по времени $\dot{\Lambda} = 0$, а $\Lambda = \text{const}$.

Тогда, сравнив последнее уравнение системы (7) и уравнение (8), можно утверждать, что

$$\dot{X} = -\Lambda = \text{const}. \tag{9}$$

Отсюда следует вывод о том, что переменные состояния оптимальной системы должны изменяться с постоянной скоростью

$$\dot{X} = \frac{1}{T} (X_T - X_0) = \text{const}. \tag{10}$$

В этом случае оптимальная траектория определяется следующей зависимостью

$$X^0 = \frac{1}{T} (X_T - X_0) \cdot \tau. \tag{11}$$

Здесь следует заметить, что оптимальная траектория не зависит от статических и динамических свойств объекта управления.

Оптимальное управление может быть найдено из уравнения состояния системы (2) и выражения (11)

$$U^0 = -B^{-1} [AX - \dot{X} + CF] = -B^{-1} \left[\frac{1}{T} (A \cdot \tau - I) \cdot (X_T - X_0) + CF \right], \tag{12}$$

где I – единичная матрица.

Таким образом, решена задача оптимального управления по критерию энергетической эффективности с учетом действия аддитивных помех.

Основываясь на выражениях (11) и (12), можно утверждать, что задача оптимизации системы управления по критерию энергетической эффективности сводится к идентификации объекта управления.

Примеры

Пусть объект управления характеризуется линейным дифференциальным уравнением первого порядка

$$\dot{x} = ax + bu + cf.$$

Необходимо перевести объект из состояния x_0 в состояние x_T за время T .

В этом случае оптимальная траектория и оптимальное управление характеризуются следующими зависимостями

$$x^0 = \frac{(x_T - x_0)}{T} \cdot \tau, \quad u^0 = -\frac{(x_T - x_0)}{bT} \cdot (a\tau - 1) - \frac{c}{b} \cdot f.$$

При $a = -1$; $b = 1$; $c = 0,1$; $T = 1$; $x_0 = 0$; $x_T = 1$; $f = -1$ оптимальные траектория и управление принимают вид:

$$x^0(\tau) = \tau, \quad u^0(\tau) = 1 + \tau + 0,1.$$

При $a = -1$; $b = 1$; $c = 0,1$; $T = 1$; $x_0 = 0$; $x_T = 1$; $f = 1$ оптимальные траектория и управление принимают вид:

$$x^0(\tau) = \tau, \quad u^0(\tau) = 1 + \tau - 0,1.$$

При $a = -1$; $b = 1$; $c = 0,1$; $T = 1$; $x_0 = 0$; $x_T = 1$; $f = \sin(\omega\tau)$ оптимальные траектория и управление принимают вид:

$$x^0(\tau) = \tau, \quad u^0(\tau) = 1 + \tau - 0,1\sin(\omega\tau).$$

Список литературы

1. Завьялов В.А., Крылов Е.Н. Оптимизация работы теплообменных аппаратов // Механизация строительства. — 2008. — № 3. — с. 28-31. — <http://ms.enjournal.net/article/638/>.
2. Завьялов В.А., Величкин В. А., Ульянов Р.С., Шиколенко И.А. Энергетически эффективное быстроедействие лифта// Механизация строительства. — 2013. — № 11. — с. 44-46.

05.13.06

В.А. Завьялов д.т.н., В.А. Величкин к.т.н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ФГОУ ВПО «МГСУ»)

Национальный исследовательский университет,
Москва, vazav@mgsu.ru, velyvol@mail.ru

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

В работе представлена методика расчёта параметров ПИД-регулятора по параметрам математической модели объекта управления. Представленная методика позволила свести задачу синтеза системы автоматического управления с заданными свойствами к задаче идентификации объекта управления, которая обязательно решается при аналитическом синтезе системы автоматического управления.

Ключевые слова: *расчёт параметров регулятора, модель объекта управления, заданные свойства системы управления, аналитический синтез системы управления.*

В связи с развитием вычислительной техники и программного обеспечения для нее, широкое распространение получили вычислительные методы проектирования систем автоматического управления (САУ). Применение цифровых вычислительных машин позволяет исследовать множество вариантов САУ, неподдающихся аналитическим расчетам.

В общем случае задача синтеза САУ заключается в определении параметров системы и выборе технических средств, обеспечивающих достижение таких характеристик САУ, которые удовлетворяют требованиям задания на проектирование.

В данной работе рассматриваются вопросы выбора параметров и схем специальных управляющих устройств, позволяющих добиться требуемых статических и динамических характеристик проектируемой САУ. При этом характеристики исходной (неизменяемой) части системы и показатели качества управления формулируются в техническом задании на проектирование. Синтез системы производится в несколько этапов с контролем полученных на каждом этапе результатов.

Пусть объект управления представляет собой (рис. 1) пропарочную камеру 1 с изделиями, оснащенную исполнительным механизмом с регулирующим органом 2 и датчиками 3. Один из датчиков используется в системе контроля, а другой в системе регулирования.

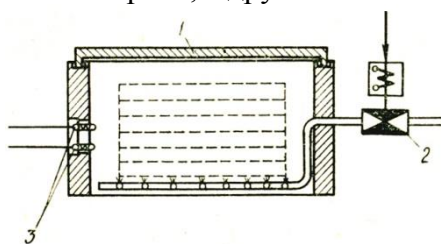


Рис. 1. Объект управления:

1 - пропарочная камера с изделиями; 2 - исполнительный механизм с регулирующим органом; 3 - датчики температуры среды в пропарочной камере

Автоматизация управления пропарочными камерами должна обеспечивать требуемую точность поддержания заданного режима тепловой обработки изделий. Это условие может быть выполнено лишь при подборе типа и параметров регулятора, соответствующих параметрам передаточной функции объекта управления.

В большинстве случаев пропарочная камера как объект управления может характеризоваться передаточной функцией третьего порядка вида

$$W_{OY}(p) = \frac{K_o}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}, \quad (1)$$

Пусть к синтезируемой САУ предъявляются следующие требования:

- 1) Установившаяся ошибка регулирования $e_{уст} = 0$. (2)
- 2) Перерегулирование $\delta = 0$.
- 3) Время регулирования $t_p \leq 3$ часа
- 4) Допустимое напряжение на выходе регулятора $U_{R, доп} \leq 10V$.

Исходя из требований к САУ (2) и с учетом свойств (1) объекта управления, целесообразно выбрать ПИД-регулятор с передаточной функцией вида

$$W_R(p) = \frac{K_R \left(\frac{K_D}{K_I} p^2 + \frac{K_I}{K_I} p + 1 \right)}{p}, \text{ где} \quad (3)$$

$K_R = K_I$ - коэффициент передачи ПИД-регулятора;

K_I - коэффициент передачи интегрирующей составляющей регулятора;

K_I - коэффициент передачи пропорциональной составляющей регулятора;

K_D - коэффициент передачи дифференцирующей составляющей регулятора.

Структурная схема САУ может иметь следующий вид

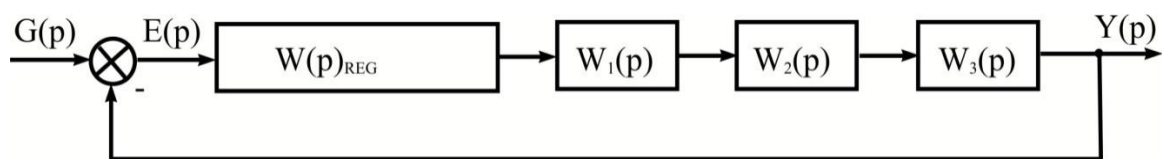


Рис. 2. Структурная схема исходной системы автоматического регулирования:

$W(p)_{REG}$ - передаточная функция регулятора; $W_1(p)$, $W_2(p)$, $W_3(p)$ - передаточные функции звеньев, характеризующих динамические свойства неизменяемой части системы;

$G(p)$ - задающее воздействие; $E(p)$ - сигнал ошибки; $Y(p)$ - выход системы.

Тогда передаточная функция системы (рис. 2) в разомкнутом виде представляется зависимостью

$$W_{PA3}(p) = W_R \cdot W_{OY}(p) = \frac{K_R \left(\frac{K_D}{K_I} p^2 + \frac{K_I}{K_I} p + 1 \right)}{p} \cdot \frac{K_O}{(T_1 p + 1)(T_3 p + 1)(T_2 p + 1)}. \quad (4)$$

Если коэффициенты (K_D , K_I , K_I) регулятора подобрать соответствующим образом, то его передаточная функция регулятора принимает вид

$$W_R(p) = \frac{K_R (T_1 p + 1)(T_3 p + 1)}{p}. \quad (5)$$

После подстановки выражения (5) в выражение (4) передаточная функция системы в разомкнутом виде характеризуется следующей зависимостью

$$W_{PA3}(p) = \frac{K_R \cdot K_O}{p(T_2 p + 1)}. \quad (6)$$

В замкнутом виде предлагаемая САУ характеризуется передаточной функцией следующего вида

$$W_3(p) = \frac{1}{\frac{T_2}{K_R \cdot K_O} p^2 + \frac{1}{K_R \cdot K_O} p + 1}. \quad (7)$$

В выражении (7) неизвестна лишь одна величина - K_R . Ее можно определить на основе требований, предъявляемых к качеству САУ, и имеющейся мощности управляющего воздействия.

В качестве показателей качества САУ заказчик обычно использует следующие показатели:

- 1) $e_{уст} \rightarrow \min$ - точность регулирования;
- 2) $\sigma \rightarrow \min$ - величина перерегулирования;
- 3) $\tau_{п} \rightarrow \min$ - длительность переходного процесса;

Пусть требования к САУ характеризуются следующими показателями:

- 1) $e_{уст} = 0$;
- 2) $\sigma \leq 0,2$;
- 3) $\tau_{п} \rightarrow \min$;

(8)

Ускорить переходный процесс можно за счет увеличения коэффициента передачи регулятора K_R . Однако при этом может возрасти перерегулирование (σ) и длительность переходного процесса ($\tau_{п}$).

Пусть $\sigma = 0,2$, тогда передаточная функция предлагаемой системы должна быть записана в следующем виде

$$W_3(p) = \frac{1}{\frac{T_2}{K_O \cdot K_R} p^2 + \frac{1}{K_O \cdot K_R} p + 1} = \frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}. \quad (9)$$

Известно [1] что величина перерегулирования в колебательном звене второго порядка определяется зависимостью

$$\sigma = K \cdot e^{-\frac{\xi\pi}{\lambda T}}, \text{ где } \lambda = \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}. \quad (10)$$

В рассматриваемом случае ($K = 1$; $\sigma = 0,2$) можно записать

$$\sigma = 0,2 = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}. \quad (11)$$

Из выражения (11) следует, что

$$\xi = \frac{\sqrt{(\ln \sigma)^2}}{\sqrt{\pi^2 + (\ln \sigma)^2}} = 0,456. \quad (12)$$

С учетом выражения (12) равенство (9) приобретает вид

$$W_3(p) = \frac{1}{\frac{T_2}{K_O \cdot K_R} p^2 + \frac{1}{K_O \cdot K_R} p + 1} = \frac{1}{T^2 p^2 + 0,912 T p + 1}. \quad (13)$$

На основании (13) можно записать следующие равенства

$$0,912 T = \frac{1}{K_O \cdot K_R}; T = \frac{1}{0,912 \cdot K_O \cdot K_R}; K_R = \frac{1}{(0,912)^2 K_O \cdot T_2} = \frac{1,1}{K_O \cdot T_2}. \quad (14)$$

Из приведенных выражений следует, что свойства предлагаемой САУ полностью определены параметрами объекта управления.

Судя по виду передаточной функции (13), САУ отвечает первым двум требованиям качества. Кроме того, в зависимости от имеющихся ресурсов управления можно определить минимальное время переходного процесса.

Переходная функция САУ по прямому каналу определяется следующим выражением.

По каналу «G → Y»

$$H_G^Y(p) = \frac{W_3(p)}{p} = \frac{1}{T^2 p^3 + 0,912 T p^2 + p}. \quad (15)$$

Как видно из приведенного выше, параметры передаточной функции САУ, отвечающей всем перечисленным выше требованиям качества регулирования, можно определить через параметры передаточной функции объекта управления.

Таким образом, задача синтеза САУ сводится к задаче идентификации объекта управления.

Список литературы

1. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал). – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с., ил.
2. Завьялов В.А., Величкин В.А. Синтез системы автоматического управления с заданными свойствами. //Механизация строительства. – 2012 – № 2 – С. 38-39.

05.22.10

Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Институт Транспорта,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин, Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ

В статье рассматривается проблема снабжения запасными частями при использовании транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче. Рассмотрены структура изучаемой системы. Выявлены основные закономерности, формирующие расход запасных частей.

Ключевые слова: структура системы, запасные части, нефтегазодобыча, транспортно-технологические машины.

Снабжение запасными частями (ЗЧ) – необходимое условие эффективного функционирования подсистемы технологического транспорта в нефтегазодобыче [1, 2, 6, 11, 12, 14, 15]. На интенсивность расходования ЗЧ и потребность в них влияет большое число факторов [7, 13, 16, 17, 18]. Некоторые из них существенно изменяются во времени, вызывая значительную вариацию потребности в ЗЧ.

Существующие методики планирования потребности в ЗЧ недостаточно учитывают указанное влияние, и это ведет к снижению точности расчетов [8, 9, 10, 20, 21]. Соответственно, возникнет неудовлетворенная потребность в ЗЧ и простои автомобилей в их ожидании или же образуются излишние запасы, увеличивающие стоимость оборотных фондов и себестоимость транспортно-технологической работы.

Для совершенствования методики расчета потребности в ЗЧ необходимо знать закономерности формирования потребности в них с учетом изменения во времени влияющих факторов.

На первом этапе исследований определена структура изучаемой системы (рис. 1). В ее основу положена концепция формирования реализуемого качества автомобилей при эксплуатации [5].

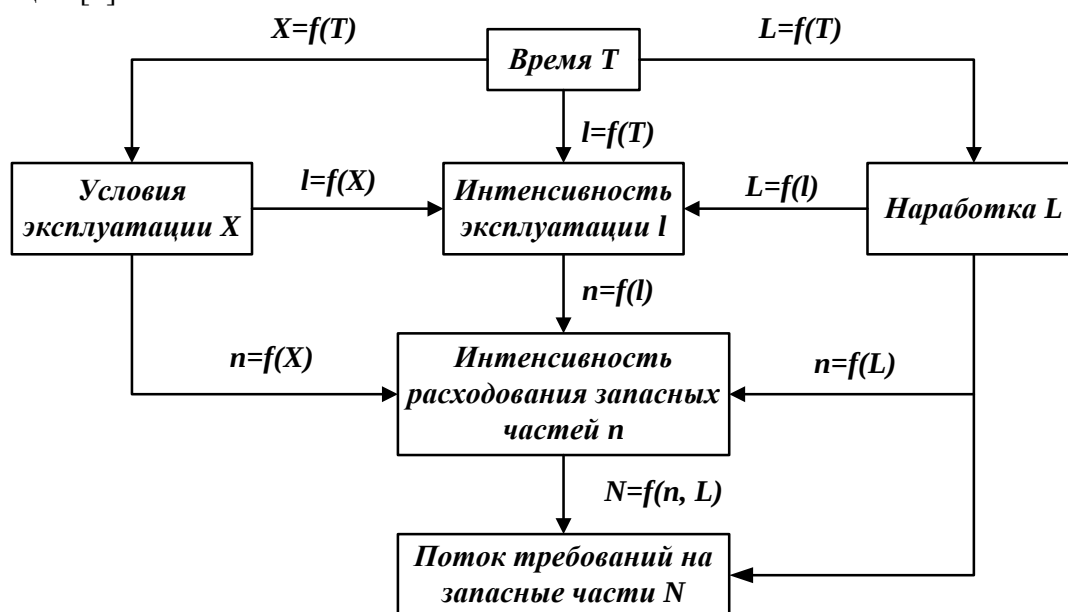


Рис. 1. Структура изучаемой системы

В соответствие с ней по времени меняются условия эксплуатации. Их изменение ведет к изменению интенсивности эксплуатации автомобилей. Например, при изменении количества осадков меняются дорожные условия, вызывая изменение скоростей движения и суточных пробегов автомобилей. Соответственно, изменение интенсивности эксплуатации ведет к изменению скорости приращения наработки во времени.

Кроме того, вариация условий эксплуатации вызывает изменение интенсивностей процессов изнашивания, накопления усталостных повреждений деталей. Это ведет к изменению потока отказов и, следовательно, интенсивности расходования ЗЧ.

Изменение технического состояния автомобилей обусловлено рядом процессов, связанных с наработкой или со временем. Приращением наработки обуславливается, в частности, изнашивание. Со временем связано старение, коррозирование, изменение физико-химических свойств материалов элементов автомобилей. Поэтому от интенсивности эксплуатации зависит вклад того или иного процесса в изменение технического состояния. Следовательно, существует зависимость вероятностей достижения предельных состояний элементов автомобилей от интенсивности эксплуатации. Соответственно, есть зависимость между интенсивностью эксплуатации автомобилей и интенсивностью расходования ЗЧ.

В свою очередь, интенсивность расходования ЗЧ и наработка за определенный период формируют ведущую функцию потока замен элементов автомобилей, которая определяет потребность в ЗЧ.

Таким образом, определена структура системы при моделировании расхода запасных частей для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче. Для создания на ее основе модели расходования ЗЧ необходимо установить закономерности взаимодействия элементов системы. Часть этих закономерностей установлена ранее [3, 4, 5, 7, 8, 19], для установления других, в частности, зависимости интенсивности расходования ЗЧ от условий и интенсивности эксплуатации, необходимо провести специальные исследования.

Список литературы

1. Захаров, Н.С. Модель восстановления транспортной подсистемы производственных систем нефтегазового комплекса [Текст] / Н.С. Захаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1997. – № 6. – С. 157.
2. Захаров, Н.С. Проблема обеспечения надежности шин автомобилей, обслуживающих объекты нефтегазового комплекса [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.И. Петров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1998. – № 6. – С. 107.
3. Захаров, Н.С. Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1999. – № 3. – С. 105.
4. Захаров, Н.С. Программа «REGRESS». Руководство пользователя [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 52 с.
5. Захаров, Н.С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей / Н.С. Захаров : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 40 с.
6. Захаров, Н.С. Актуальные проблемы эксплуатации автомобилей и транспортно-технологических машин в нефтегазодобывающем регионе [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, К.В. Бугаев, Д.С. Быков, В.В. Ефимов, А.А. Панфилов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 6. С. 77-79.
7. Захаров, Н.С. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.В. Вознесенский, Л.В. Бачинин, А.Н. Ракитин / Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.
8. Захаров, Н.С. Влияние сезонных условий на оптимальное количество постов технического обслуживания автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, Е.С. Шевелев // Транспорт Урала. 2008. – № 1. – С. 72-76.

9. Захаров, Н.С. Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, А.Н. Макарова // Известия Тульского государственного университета. – 2012. – № 12. Ч 2. – С. 186–191.
10. Захаров, Н.С. Влияние неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей на время простоя исполнителей технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, В.Н. Карнаухов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 12-2. – С. 167-173.
11. Захаров, Н.С. Оценка факторов, влияющих на эффективность транспортно-технологического обслуживания процессов нефтегазодобычи [Текст] / Захаров Н.С., Новоселов О.А., Иванкив М.М., Лушников А.А. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2013. – № 1. – С. 70-75.
12. Захаров, Н.С. Факторы, влияющие на продолжительность простоя транспортно-технологических машин в текущем ремонте [Текст] / Захаров Н.С., Савин С.А., Иванкив М.М., Лушников А.А. // Нефтяное хозяйство. – 2014. – №4. – С. 82-84.
13. Захаров, Н.С. Взаимосвязь между климатическими факторами [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.Н. Ракитин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. – С. 26-29.
14. Захаров, Н.С. Целевая функция при управлении снабжением запасными частями для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче [Текст] / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 108-110.
15. Зиганшин, Р. Моделирование потока требований на запасные части при эксплуатации специальной нефтепромысловой техники с учетом влияния сезонных факторов [Текст] / Р. Зиганшин, А. Зиганшина, Н. Захаров, В. Савчугов // Логистика. – 2013. – № 4 (77). – С. 50-52.
16. Макарова, А.Н. Уточнение периодичности технического обслуживания автомобилей в эксплуатации [Текст] / А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. С. – 117-120.
17. Новоселов, О.А. Влияние сезонных условий на интенсивность эксплуатации бульдозеров при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Текст] / О.А. Новоселов, В.Н. Пермяков, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. – № 3. – С. 117-180.
18. Пермяков, В.Н. Оценка надежности бульдозеров Б170М1Б.01В4 при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Текст] / В.Н. Пермяков, О.А. Новоселов, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. – № 3. – С. 199-201.
19. Пермяков, В.Н., Моделирование закономерностей распределения наработок на отказ бульдозеров при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Электронный ресурс] / В.Н. Пермяков, О.А. Новоселов, А.Н. Макарова // Инженерный вестник Дона. – 2014. – №2. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2435> (доступ свободный).
20. Резник, Л.Г. Корректирование норм пробега шин [Текст] / Л.Г. Резник, Н.С. Захаров // Автомобильный транспорт. – 1988. – № 11. – С. 29-31.
21. Терехов, А.С. Оценка надёжности пневматической подвески автобусов большого класса [Текст] / А.С. Терехов, А.Н. Макарова, А.В. Мальшаков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 232-235.

05.22.10

Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Институт Транспорта,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДНОГО ТОКА АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

В статье рассмотрено влияние температуры и условий эксплуатации на работу автомобильных аккумуляторных батарей, обозначены ключевые факторы, предложены меры по повышению надёжности работы аккумуляторных батарей.

Ключевые слова: *автомобиль, аккумуляторная батарея, холодный климат, сила тока, степень заряженности.*

Эксплуатация автомобилей в условиях Севера и Сибири имеет ряд особенностей: низкие температуры воздуха, тяжелые дорожные условия, сезонная вариация интенсивности и условий эксплуатации [1, 2, 3, 8, 9, 10]. При этом поддержание оптимальной степени заряженности аккумуляторной батареи (АБ) - обязательно условие надежного пуска двигателя в условиях низких температур [4, 7]. В настоящее время наиболее неблагоприятной, с точки зрения обеспечения оптимальных зарядных условий АБ, можно считать эксплуатацию автомобилей в крупных городах зимой. Ухудшение зарядных характеристик АБ, повышенное энергопотребление дополнительным оборудованием и малые скорости движения автомобиля в городе с частыми остановками у светофоров существенно снижают зарядный ток генератора. В результате АБ разряжается не только при пуске двигателя и при включении потребителей на стоянке, но и во время движения.

Частые пуски в относительно короткий промежуток времени либо пуск – короткий пробег – длительная остановка при низких температурах опасны тем, что генератор не успевает сообщить то количество электроэнергии, которое АБ отдала во время предшествующего разряда. Ежедневная эксплуатация АБ в таких режимах без дополнительной подзарядки способствует быстрому снижению степени заряженности АБ, в результате чего пуск двигателя в холодное время года затрудняется, либо становится невозможным вообще.

Восполнение заряда АБ может осуществляться от внешнего источника как в рамках регламентных работ по техническому обслуживанию (ТО) автомобиля [7], так и отдельно как планово–предупредительная мера по личной инициативе автовладельца. Однако, учитывая, что периодичность ТО обычно связываются не со временем (продолжительностью) эксплуатации, а с количеством пройденных километров – наработкой [4, 6], АБ может разрядиться прежде, чем наступит плановое ТО. В результате двигатель не запустится. С другой стороны, излишне частый подзаряд АБ экономически нецелесообразен.

Таким образом, существует проблема обеспечения оптимальной степени заряженности АБ при эксплуатации городских автомобилей в зимний период. Для разработки методики корректирования периодичности ТО АБ необходимо установить закономерности формирования степени заряженности АБ, для чего следует определить характер изменения зарядного тока АБ в системе электроснабжения автомобиля.

Анализ соотношений, определяющих силу тока в системе электропитания [15], и характерных режимов показывает, что распределение нагрузки между генератором и АБ зависит от многих факторов, основными из которых являются скоростной режим и токоскоростная характеристика генератора, уровень регулируемого напряжения, конструкция и техническое состояние АБ, температура окружающей среды и пр. Максимальная сила тока заряда, которую может обеспечить генераторная установка при определенной частоте вращения ротора генератора, представляет собой разность между током генератора и током включенных потребителей электроэнергии.

Однако АБ не всегда может принять тот зарядный ток, который способна обеспечить генераторная установка. При низких температурах возрастает вязкость электролита, снижается скорость его диффузии в поры активного материала пластин, уменьшается электропроводность. По этой причине снижается эффективность процесса заряда от генератора в пределах регулируемого напряжения. Как показывают проведенные ранее исследования [14, 16], зарядный ток АБ также уменьшается не только при низких значениях регулируемого напряжения, но и по мере увеличения степени заряженности АБ. На основании экспериментальных данных, полученных ранее [14], зависимость зарядного тока от температуры электролита, напряжения и степени заряженности АБ было предложено аппроксимировать уравнением плоскости, проходящей через три точки. В таком случае изменение зарядного тока I_3 , принимаемого АБ, можно описать следующим образом:

$$I_3(C_3, U, T) = y_0(T) + \frac{((C_3 - 75)(y(T) - y_0(T)))}{25} + \frac{(25(U - 14)(Y_0(T) - y_0(T)))}{25},$$

где C_3 – степень заряженности АБ;

U – напряжение заряда;

T – температура АБ;

$y_0(T)$, $y(T)$, $Y_0(T)$ – зависимости относительного зарядного тока исследуемой АБ от температуры при фиксированных значениях U и C_3 , в режиме циклирования.

В графическом виде указанная зависимость представлена на рис. 1.

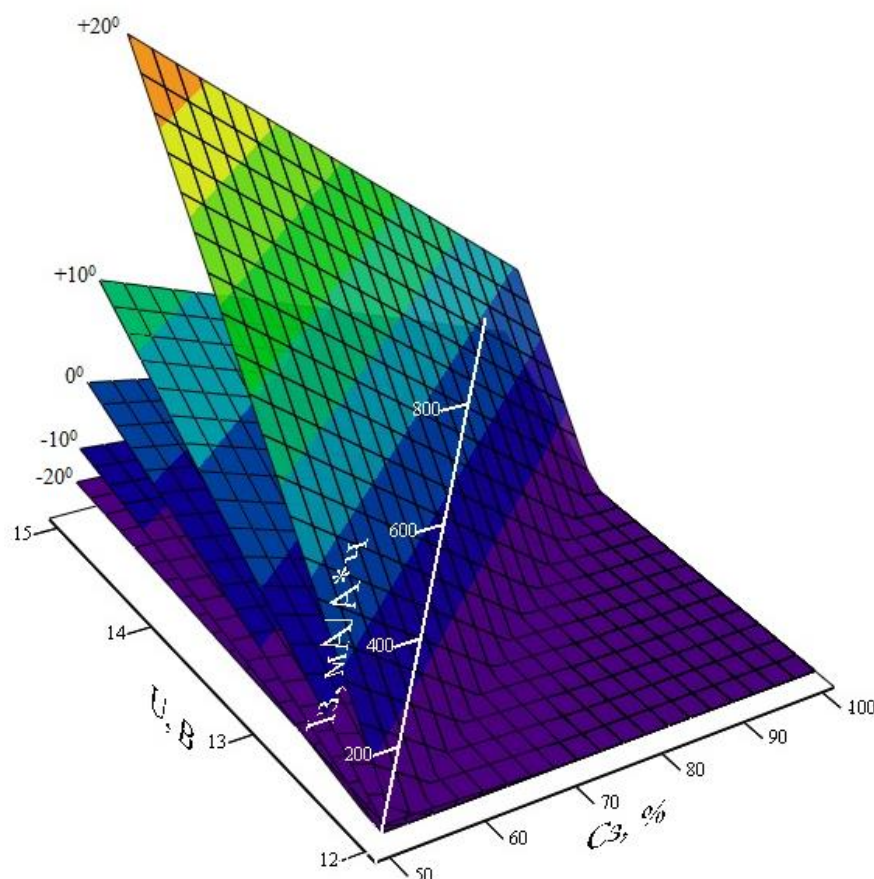


Рис. 1 – Изменение относительного зарядного тока необслуживаемой АБ в циклическом режиме

Полученное соотношение можно использовать при моделировании процессов взаимодействия разрядно-зарядных характеристик АБ и условий эксплуатации для определения наработки АБ до достижения предельного уровня заряженности, при котором необходимо провести ТО для восстановления исходных параметров технического состояния АБ [5]. Использование полученных результатов позволит продлить срок службы АБ,

обеспечить надежный зимний пуск двигателя, прогнозировать потребность в новых АБ [11, 12, 13], а также улучшить экономические показатели процесса эксплуатации автомобилей.

Список литературы

1. Захаров, Н.С. Актуальные проблемы эксплуатации автомобилей и транспортно-технологических машин в нефтегазодобывающем регионе [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, К.В. Бугаев, Д.С. Быков, В.В. Ефимов, А.А. Панфилов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 6. С. 77-79.
2. Захаров, Н.С. Влияние неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей на время простоя исполнителей технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, В.Н. Карнаухов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 12-2. – С. 167-173.
3. Захаров, Н.С. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.В. Вознесенский, Л.В. Бачинин, А.Н. Ракитин / Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.
4. Захаров, Н.С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей / Н.С. Захаров : автореферат дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 40 с.
5. Захаров, Н.С. Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1999. – № 3. – С. 105.
6. Захаров, Н.С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей / Н.С. Захаров. – Тюмень : ТюмГНГУ, 1999. – 127 с.
7. Захаров, Н.С. Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, А.Н. Макарова // Известия Тульского государственного университета. – 2012. – № 12. Ч 2. – С. 186–191.
8. Захаров, Н.С. Оценка факторов, влияющих на эффективность транспортно-технологического обслуживания процессов нефтегазодобычи [Текст] / Захаров Н.С., Новоселов О.А., Иванкив М.М., Лушников А.А. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2013. – № 1. – С. 70-75.
9. Захаров, Н.С. Проблема обеспечения надежности шин автомобилей, обслуживающих объекты нефтегазового комплекса [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.И. Петров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1998. – № 6. – С. 107.
10. Захаров, Н.С. Факторы, влияющие на продолжительность простоя транспортно-технологических машин в текущем ремонте [Текст] / Захаров Н.С., Савин С.А., Иванкив М.М., Лушников А.А. // Нефтяное хозяйство. – 2014. – №4. – С. 82-84.
11. Захаров, Н.С. Целевая функция при управлении снабжением запасными частями для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче [Текст] / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 108-110.
12. Зиганшин, Р. Моделирование потока требований на запасные части при эксплуатации специальной нефтепромысловой техники с учетом влияния сезонных факторов [Текст] / Р. Зиганшин, А. Зиганшина, Н. Захаров, В. Савчугов // Логистика. – 2013. – № 4 (77). – С. 50-52.
13. Резник, Л.Г. Корректирование норм пробега шин [Текст] / Л.Г. Резник, Н.С. Захаров // Автомобильный транспорт. – 1988. – № 11. – С. 29-31.
14. Стартерные аккумуляторные батареи: Устройство, эксплуатация, ремонт / М.А. Дасоян [и др.]. – М.: Транспорт, 1994. – 242 с.
15. Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования / Л.В. Копылова [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
16. Ютт, В.Е. Электрооборудование автомобилей. Учебник для ВУЗов / В.Е. Ютт. – 4 – е изд., перераб. и доп. – М: Горячая линия – Телеком, 2006. – 440 с.

05.02.10

Д.П. Ильященко

Юргинский технологический институт
Национального исследовательского Томского политехнического университета
г. Юрга, mita8@rambler.ru

СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований технологических особенностей (величина разбрызгивания, стабильность процесса сварки) ручной дуговой сварки покрытыми электродами от различных типов источников питания (инверторный источник, диодный выпрямитель). Установлено, инверторы обеспечивают высокое качество сварки (более стабильный процесс, меньшая величина разбрызгивания), а это приводит к снижению себестоимости изготовления изделия за счет уменьшения операций по зачистке швов, экономии сварочного материала

Ключевые слова: дуговая сварка, тип источника питания, стабильность горения, разбрызгивание, выпрямитель, инвертор.

Дуговая сварка плавящимся электродом (механизированная сварка в защитных газах и РДС покрытыми электродами) занимает одно из ведущих мест во всех отраслях промышленности, в том числе в машиностроении, при изготовлении металлоконструкций, при строительстве магистральных газо- и нефтепроводов, а также при проведении ремонтных работ. Одним из недостатков дуговой сварки плавящимся электродом является разбрызгивание электродного металла. Разбрызгивание сопровождается выбрасыванием из зоны дуги большого количества брызг (капель) жидкого металла различного размера, вступающих в физико-химическое взаимодействие с поверхностными слоями свариваемого металла, что приводит к изменению его структурно – фазового состояния и потере 3-10% электродного металла [1].

Стабильность процесса сварки можно характеризовать по величине разбрызгивания электродного металла, которое можно оценить по отношению [2] $\frac{I_{к.з.}}{I_2} \rightarrow 1$, где $I_{к.з.}$ – ток короткого замыкания, А; I_2 – ток дуги, А. Разбрызгивание электродного металла зависит от энергетических параметров сварочных источников питания, которые оказывают воздействие на скорость нарастания тока короткого замыкания, и тем самым на величины: мощности электрического взрыва в момент отрыва капли после короткого замыкания; амплитудного значения тока [3].

Осциллограммы приведенных процессов РДС покрытыми электродами [4] показывают более стабильный процесс при использовании инверторного источника (амплитуда колебания сварочного тока составляет до 20А; $\frac{I_{к.з.}}{I_2} < 1,2$), чем от диодного выпрямителя (амплитуда колебания сварочного тока составляет до 50А; $\frac{I_{к.з.}}{I_2} < 1,4$). Отличия можно объяснить различием ВАХ источника питания [5]: у диодного – пологопадающая, а у инвертора на участке горения дуги штыковая.

Сущность методики определения потерь металла на разбрызгивание заключается в следующем [6]:

- 1) взвешиваем и определяем массу сварочных материалов ($m_{с1}$) (электродов) и деталей ($m_{д1}$);
- 2) устанавливаем свариваемое изделие в короб (рисунок 1) для улавливания брызг, внутренняя поверхность которого покрыта паронитом (препятствует сцеплению брызг с внутренней поверхностью короба);

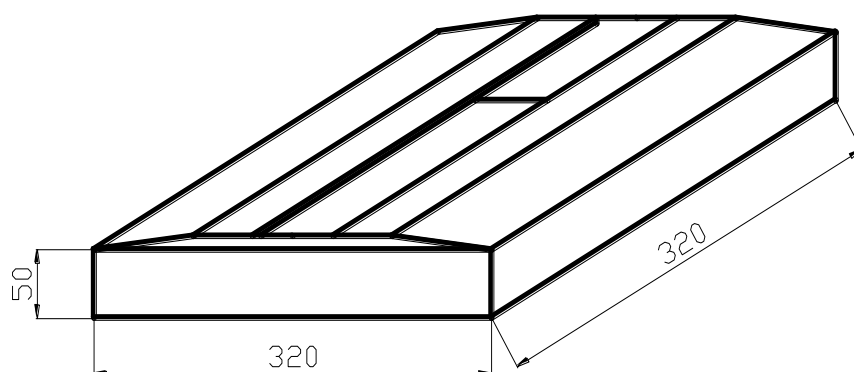


Рисунок 1 Короб для улавливания брызг расплавленного электродного металла

3) режимы сварки зависят от: толщины свариваемого изделия; диаметра электрода (проволоки); вида пространственного положения (эксперимент проводим в нижнем положении). Диапазон изменения сварочного тока задаем по формуле:

$$I_{св} = (30-40)d_э \quad (1)$$

4) Сварку производим на образцах из стали 09Г2С, размером 6x250x300 мм, покрытыми электродами;

5) взвешиваем брызги, оставшиеся в коробе после сварки (m_p);

6) взвешиваем сварочные материалы, оставшиеся после сварки ($m_{э3}$);

7) определяем массу израсходованного сварочного материала:

$$m_{э2} = m_{э1} - m_{э3}, \quad (2)$$

8) Количественным показателем разбрызгивания металла служит коэффициент разбрызгивания Y , представляющий отношение веса брызг к весу расплавленного металла электрода по формуле:

$$Y_{разб} = \frac{m_p}{m_{э2}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

В работах [7, 8] исследовано влияние величины сварочного тока на количество разбрызгиваемого электродного металла при использовании различных марок покрытых электродов. В качестве источника питания применяли: выпрямитель ВД-306 У3 и инверторный источник Nebula-315. Результаты проведенных исследований представлены на рис. 2.

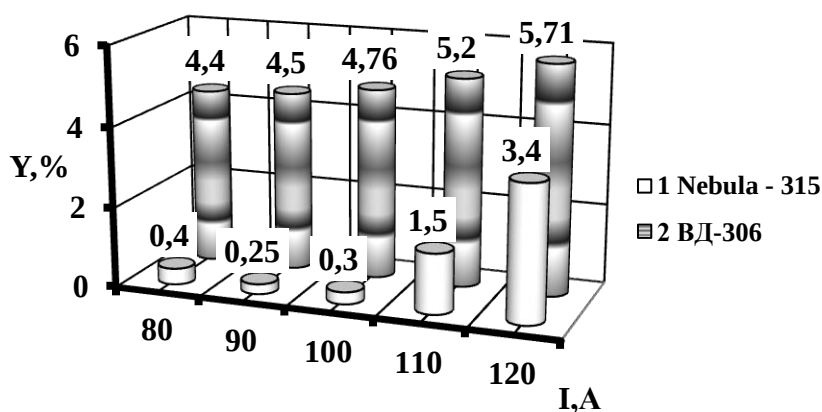


Рисунок 2 – Влияние силы тока на величину разбрызгивание электродного металла при РДС покрытыми электродами диаметром 3мм - LB 52 (основное покрытие).

Увеличение величины разбрызгивания при увеличении сварочного тока (рис. 2) можно объяснить тем, что повышение тока приводит к уменьшению сил поверхностного натяжения препятствующих отрыву капли и увеличению сил отрыва капли (силы: электродинамические и давления газовых потоков), тем самым происходит переход от крупнокапельного перехода к мелкокапельному, а, следовательно, увеличивается количество отрывов капли и разрушение перемычки между каплями и электродом, что приводит к увеличению разбрызгивания.

Анализ экспериментальных данных позволил описать полученную зависимость (в диапазоне сварочного тока 80–120 А) математическим уравнением вида:

$$Y = aI^2 + bI + c, \quad (4)$$

где a , b , c – эмпирические коэффициенты, R^2 – величина достоверности аппроксимации (представлены в таблице 1)

Таблица 1

Эмпирические коэффициенты уравнения (1)

Марка электрода	ВД-306			Nebula-315		
	a	b	c	a	b	c
LB-52U	0,0007	–0,115	8,86	0,003	–0,677	30,67

Вывод:

По результатам исследований установлено, что сварочные инверторные источники обеспечивают высокое качество сварки (более стабильный процесс, меньшая величина разбрызгивания), а это приводит к снижению себестоимости изготовления изделия за счет уменьшения операций по зачистке швов, экономии сварочного материала.

Список литературы

- 1 Сабиров, И.Р. Применение функциональных покрытий при дуговой сварке плавящимся электродом [Текст] / И.Р. Сабиров, Е.А. Зернин, Д.П. Ильященко // Новые промышленные технологии. №1. 2009. – С.7-8.
- 2 Федько В. Т. Теория, технология и средства снижения набрызгивания и трудоемкости при сварке в углекислом газе. Томск: Томский государственный университет, 1998. - 432с.
- 3 Федько, В. Т. Методы борьбы с разбрызгиванием при сварке в CO_2 [Текст] / В.Т. Федько, О.Г. Брунов, С.А. Солодский, А.В. Крюков, П.Д. Соколов // Технология машиностроения – 2005. – №5 – С. 24 – 30.
- 4 Investigating the Influence of the Power Supply the Weld Joints Properties and Health Characteristics of the Manual Arc Welding / D.P. Ilyashchenko, D.A. Chinakhov // Materials Science Forum, 2011, No 12, pp 704-705.
- 5 Л.Г. Толстых, А.А. Вопнерук Инверторные источники питания для дуговой сварки // Ремонт, Восстановление, модернизация. № 9. 2009. С.29-31.
- 6 Федько, В.Т. Состояние вопроса потерь электродного металла на разбрызгивание при ручной дуговой сварке различными покрытиями электродами [Текст] / В.Т. Федько, А.П. Ястребов, Д.П. Ильященко // Труды X юбилейной международной научно практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ», В 2-х т. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2004.-Т.1.-308 с. С.153-155.
- 7 Ильященко Д.П., Сапожков С.Б. Разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и способы его снижения // Сварочное производство. 2007. № 12. С.28–31
- 8 Il'yashenko, D.P. Splashing in manual arc coated electrode welding and methods of reducing splashing/ D.P. Il'yashenko, S.V. Sapozhkov // Welding International. 2008. Vol. 22, No 12, - С. 874–877.

05.22.14

В.В. Ионов к.т.н.

Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации (институт),
кафедра Естественных дисциплин, Ульяновск, iovlad@mail.ru

В.В. Курчавов

Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации (институт),
Центр мониторинга качества обучения, кафедра Обеспечения авиационной безопасности,
Ульяновск, kbbsimbirsk@mail.ru

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СЛОЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ НА ВРЕМЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ И ПРЕДМЕТОВ ПРИ ИХ ВИЗУАЛЬНОМ ВОСПРИЯТИИ НА ЭКРАНЕ ИНТРОСКОПА

В работе представлены результаты статистической обработки данных эксперимента по выявлению с использованием рентгенотелевизионного интроскопа опасных веществ и предметов в условиях действия усложняющих факторов. Данные результаты позволят разработать алгоритм многопараметрической оценки профессиональной деятельности операторов рентгенотелевизионных интроскопов.

Ключевые слова: *рентгенотелевизионный интроскоп, информационное поле, усложняющие факторы.*

Цель работы

В настоящее время чрезвычайно актуальной остается проблема предотвращения попыток провоза на всех видах транспорта опасных веществ и предметов (ОВП). Так, только службами авиационной безопасности аэропортов в 2013 году было пресечено более 37 тыс. попыток проноса на борт воздушных судов и в контролируемую зону аэропортов ОВП, из которых более 21 тыс. составили попытки проноса оружия и боеприпасов [1]. С 2013 года на всех железнодорожных, автомобильных, морских и речных вокзалах вводятся в действие зоны досмотра пассажиров и багажа, что потребует соответствующей подготовки и аттестации необходимого количества специалистов, умеющих работать с техническими средствами досмотра.

К настоящему времени рентгенотелевизионный интроскоп (РТИ) являются наиболее доступными и эффективным средством обнаружения ОВП, запрещенных (разрешенных с соблюдением требуемых условий) к перевозке. Привлекательность этих установок связана с тем, что кроме холодного и огнестрельного оружия, они могут обнаруживать взрывчатые вещества (ВВ), наркотики и предметы, запрещенные к свободному перемещению через контролируемую зону.

Сложность информационного поля РТИ, обусловленная факторами схожей цветовой гаммы предметов досмотра, оверлейности изображений, ориентации и сложности исследуемого объекта, увеличивает время проверки багажа. Поэтому жесткие временные рамки досмотра единицы багажа, определённые без учёта таких факторов, могут привести к фатальным ошибкам в работе операторов. При наличии достаточного количества измерений времени обнаружения ОВП в условиях сложности информационного поля можно определить вероятностные характеристики этого параметра и таким образом установить нормативное время досмотра единицы багажа в целях качественной подготовки операторов РТИ.

Постановка задачи

Главная особенность деятельности оператора РТИ состоит в том, что она осуществляется не с реальным объектом, а с его информационной моделью. Информационная модель представляет собой организованное в соответствии с определенной компьютерной

программой выдаваемое на средство отображения информации теневое рентгеновское изображение содержимого исследуемого объекта. Информационная модель для оператора РТИ является источником информации, пользуясь которой он оценивает ситуацию и принимает решение [2].

Критериями оценки эффективности деятельности оператора РТИ целесообразно считать:

– Вероятность обнаружения запрещенных к провозу предметов на информационном поле интроскопа за нормативное время досмотра;

– Вероятность ошибок оператора 1 и 2 рода

Указанные критерии сильно зависят от сложности информационного поля. Опыт работы операторов интроскопов показывает, что на сложность поля влияют следующие факторы [3]:

- цветное изображение объекта;
- геометрический образ объекта;
- ориентация объекта;
- оверлейность изображений;
- сложность объекта

Требуется на основе накопленных данных построить статистическую модель для анализа зависимости времени обнаружения запрещённых веществ на информационном поле от усложняющих факторов.

Результаты статистической обработки времени распознавания запрещенных веществ

В Ульяновском высшем авиационном училище гражданской авиации (институте) накоплен большой статистический материал по измерению времени обнаружения курсантами (операторами) ОВП в условиях действия усложняющих факторов.

В эксперименте участвовало 70 курсантов. В состав репрезентативной группы входили курсанты, имеющие теоретические знания о досмотре багажа и ручной клади пассажиров с использованием рентгеновского оборудования и начальные навыки в работе на РТИ.

Методика проведения эксперимента состояла в следующем: испытуемым поочередно предъявлялось 100 снимков теневого рентгеновского изображения содержимого багажа. Снимки предъявлялись на экране по одному при времени экспозиции до 30 с. Информационное поле снимка содержало от трех до шести элементов (кроме обычных вещей муляжи взрывчатых веществ, боевого оружия, флаконы с жидкостями и так далее). Задача испытуемых состояла в интерпретации содержимого багажа с озвучиванием каждого элемента, отдавая приоритет ОВП. Эксперт регистрировал время и точность интерпретации каждого названного элемента. Данные эксперимента по каждому курсанту заносились в ведомость. Если предмет не был обнаружен, то в выборке ставился пропуск. В противном случае в выборку вносилось время обнаружения в секундах. По отношению числа пропусков к общему количеству измерений можно определить выборочную вероятность не обнаружения ОВП для различных факторов за нормативное время (табл.1).

Таблица 1 – Вероятность не обнаружения ОВП в условиях действия усложняющих факторов

№ п/п	Наименование фактора	Вероятность не обнаружения
1	Сложная геометрия	0.27
2	Ориентация	0.29
3	Оверлейность	0.39
4	Сложный объект	0.31
5	Цветовое восприятие	0.45

Таким образом, наиболее сложным фактором для распознавания является наложение цветов запрещенных и разрешенных к провозу предметов.

Для усложняющих факторов информационного поля получены основные статистические характеристики:

- Выборочное среднее;
- Выборочное среднеквадратическое отклонение;
- Верхний (0.95) и нижний (0.05) квантили плотности распределения.

Результаты обработки выборки приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты обработки выборки эксперимента

№ п/п	Наименование фактора	Общее число измерений	Пропуски	Без пропусков	Среднее	СКО	Квантиль 0.05	Квантиль 0.95
1	Сложная геометрия	6156	1662	4494	8.23	5.70	2	20
2	Ориентация	2052	603	1449	8.59	5.62	3	20
3	Оверлейность	1596	626	970	9.08	6.12	2	22
4	Сложный объект	1140	353	787	8.66	5.77	2	20
5	Цветовое восприятие	798	358	440	9.2	6.49	3	24

Анализ данных эксперимента показывает, что максимальное выборочное среднее (9.2сек) и среднеквадратическое отклонение (6.49 сек) имеет фактор «Цветовое восприятие». С вероятностью 95% время обнаружения будет меньше или равно 24 секунд. Это время можно принять за нормативное время просмотра единицы багажа. Здесь мы не рассматриваем случаи наложения факторов.

Расчёты показывают, что мода всех распределений равна 5 секундам. Это означает, что для любых усложняющих факторов в большинстве случаев время распознавания равно 5 секундам. Форма гистограмм напоминает нормальное (гауссовское) распределение с «обрезанным» левым хвостом.

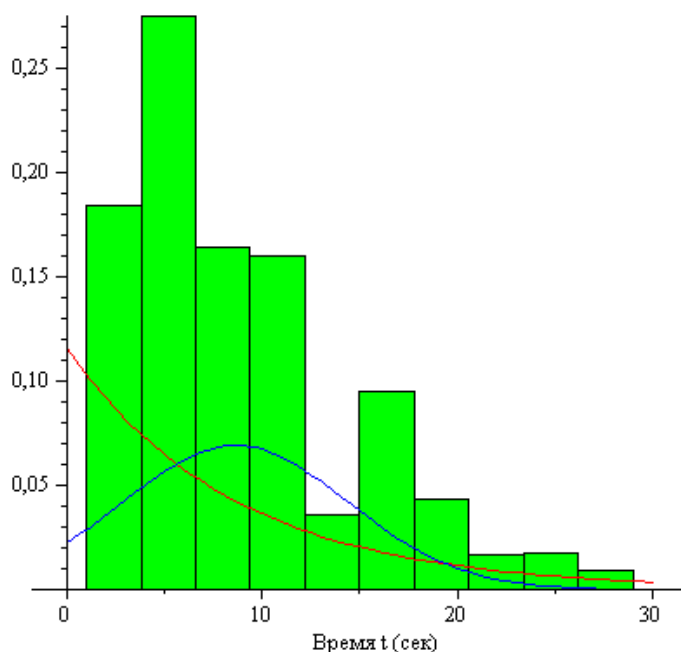


Рис. 1 – Сравнение эмпирического распределения с нормальным и показательным законом распределения

На рисунке 1 приведено сравнение эмпирического распределения (для фактора сложного объекта) с показательной (график красного цвета) и нормальной плотностью распределения (график синего цвета). Графики функций нормального и экспоненциального распределений рассчитаны для значений выборочных средних и среднеквадратических отклонений.

Выводы

Предлагаемая статистическая модель позволяет определить оценки вероятности ошибок операторов при ограниченном времени досмотра ручной клади и багажа, оптимальное нормативное время досмотра единицы багажа по заданной вероятности обнаружения ОВП при действии различных факторов информационного поля РТИ.

Список литературы

1. Об итогах работы Федерального агентства воздушного транспорта в 2013 году и основных задачах на 2014 год и среднесрочную перспективу : Постановление Коллегии Федерального агентства воздушного транспорта от 27.03.2014 № 1-К.
2. Курчавов, В. В. Определение основных показателей деятельности оператора рентгентелевизионной установки в режиме информационного поиска / В. В. Курчавов // Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития: труды III Международной научно-практической конференции 1-2 ноября 2012 г. : в 2 т. – Т. 1. – Ульяновск : УлГУ, 2012. – С. 292-297.
3. Ионов, В. В., Курчавов, В. В. Многопараметрическая оценка деятельности операторов интроскопов / В. В. Ионов, В. В. Курчавов // Мир транспорта. – 2014. – № 2 (51). – С. 194-201.
4. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – Изд. 12-е, перераб. – М.: Высшая школа, 2009. – 478 с.

05.13.19

А.С. Исаев, Г.П. Жигулин к.т.н.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, институт комплексного военного образования, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, Санкт-Петербург, a.s.isaev@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СОГЛАСНО ПОЛОЖЕНИЯМ МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению и систематизации основных составляющих процессов управления информационной безопасностью по функциональным группам, в соответствии с положениями разработанного метода управления информационной безопасностью на основе теории построения экспертных систем.

Ключевые слова: *информационная безопасность, управление информационной безопасностью, экспертная система.*

В основу разработанного метода управления информационной безопасностью заложены положения теории построения экспертных систем. Основываясь на процессе характере обеспечения информационной безопасности, управление всей информационной безопасностью в организации будет основано на комплексном подходе к управлению каждым из процессов обеспечения информационной безопасности.

В процессе проведения анализа международной и Российской нормативно-правовой документации был составлен следующий перечень основных процессов, на управлении которыми основывается метод управления информационной безопасностью на основе теории построения экспертных систем:

1. Управление активами организации.
2. Управление ресурсами системы защиты информации, реализованной в организации.
3. Управление рисками и угрозами информационной безопасности.
4. Управление документацией и информационной справочной системой в организации.
5. Управление аудитом системы защиты информации;
6. Управление анализом эффективности системы защиты информации.
7. Управление задачами и деятельностью сотрудников, осуществляющих процессы обеспечения информационной безопасности в организации.
8. Управление процессами обеспечения непрерывности работы информационных систем и информационно-телекоммуникационных сервисов.
9. Управление процессами обеспечения мониторинга, выявления и реагирования на события информационной безопасности.
10. Управление процессами обеспечения информационной безопасности на различных этапах развития информационных систем, а также поддержании и продлении жизненных циклов информационных систем организации.
11. Управление процессами обеспечения информационной безопасности при осуществлении работы с сотрудниками организации, превышении их квалификации и общей компетенции по вопросам информационной безопасности.
12. Управление процессами обеспечения информационной безопасности при осуществлении информационного обмена и взаимодействии с третьими сторонами.
13. Управление процессами обеспечения разграничения прав доступа к информации и информационным системам пользователей организации, а также последующего контроля за данным процессом.

Таким образом, полный перечень данных процессов подлежит соответствующему разбиению на основные функциональные группы, исходя из их роли в рамках процессов обеспечения информационной безопасности, а именно:

1. Группа формирования требований и исходной информации к системе защиты информации и объектам защиты.
2. Группа систематизации информации по системе защиты информации и объектам защиты.
3. Группа актуализации информации по системе защиты информации и объектам защиты.
4. Группа аналитической обработки, контроля и анализа эффективности реализации механизмов защиты, действующих в рамках системы защиты информации.
5. Группа принятия решений по управлению информационной безопасностью и применению корректирующих и предупреждающих воздействий, в сочетании с планированием и совершенствованием механизмов защиты, действующих в рамках системы защиты информации.

Каждая из данных функциональных групп может быть представлена в виде одной из составных частей в структуре экспертной системы, отвечающая за конкретные действия в рамках данного метода управления информационной безопасностью. Если провести аналогию процессов управления информационной безопасностью и структурой экспертной системы, отодвинув на второй план вопросы автоматизации самих процессов, мы получим полноправную экспертную систему, отвечающую за реализацию конкретного процесса в рамках организации.

Группа формирования требований и исходной информации к системе защиты информации и объектам защиты предназначена для систематизации требований внешней и внутренней нормативно-правовой документации в области обеспечения информационной безопасности в организации и должна обеспечивать формирование исходного набора информации по всем объектам защиты и механизмам системы защиты информации, в привязке к возникающим нормативным требованиям. С точки зрения положений теории построения экспертных систем, данная функциональная группа будет являться «Базой знаний».

Группа систематизации информации по системе защиты информации и объектам защиты предназначена для структуризации всех собранных исходных данных и требований по информационной безопасности, сформированным в рамках работы первой функциональной группы. Основным результатом работы данной функциональной группы будет являться систематизированный перечень исходных данных по системе защиты информации и объектам защиты с распределенными классификаторами по типам данных и правил их взаимодействия внутри организации. С точки зрения положений теории построения экспертных систем данная функциональная группа будет являться совокупностью «Экспертной группы» и «Группы инженеров знаний».

Группа актуализации информации по системе защиты информации и объектам защиты предназначена для внесения своевременных изменений, дополнений и расширения общей инфраструктурной информации по объектам и механизмам защиты, а также для поддержания общего уровня заданных параметров по требованиям нормативно-правовой документации, в сочетании с мониторингом протекающих процессов в рамках основных составляющих организации в привязке как к внутреннему, так и внешнему персоналу организации. Основным результатом работы данной функциональной группы будет являться актуализация всех данных о системе защиты информации и объектах защиты, а также определении новых и/или недостающих параметров для определения зависимостей и правил поведения системы защиты информации, необходимых для наиболее корректной и эффективной работы последующих функциональных групп. С точки зрения положений теории построения экспертных систем данная функциональная группа будет являться «Редактором базы знаний».

Группа аналитической обработки, контроля и анализа эффективности реализации механизмов защиты, действующих в рамках системы защиты информации предназначена для проведения структурированного анализа собираемых и актуализируемых данных работы первых трех функциональных групп, контроля за соблюдением требований нормативно-правовой документации и комплексного анализа эффективности применяемых средств защиты информации. С точки зрения теории построения экспертных систем, типовой структуры экспертной системы, данная функциональная группа будет являться «Решателем» или механизмом вывода данных на основе их анализа, для последующего принятия решений.

Группа принятия решений по управлению информационной безопасностью и применению корректирующих и предупреждающих воздействий, в сочетании с планированием и совершенствованием механизмов защиты, действующих в рамках системы защиты информации предназначена для тактического и стратегического управления информационной безопасностью на основе получаемых данных от других функциональных групп, формированию своевременного пула действия для принятия корректирующих и предупреждающих воздействия на систему защиты информации, а также планированию работ по совершенствованию механизмов защиты информации, реализованных в рамках действующей системы защиты информации в организации. С точки зрения теории построения экспертных систем данная функциональная группа будет являться «Подсистемой объяснения».

Общая структура составных процессов управления информационной безопасностью, с разбиением по функциональным группам и их обобщением с учетом положений теории построения экспертных систем, представлена на рисунке 1.

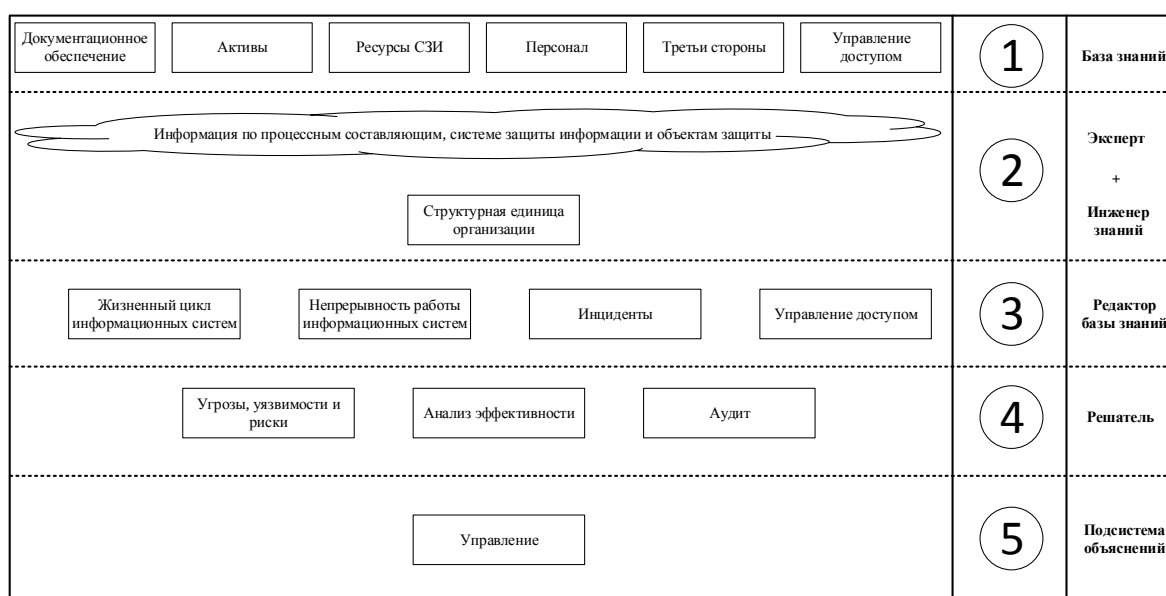


Рис. 1 – Структура составных процессов управления информационной безопасности

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000 «Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Общий обзор и терминология», 2009 г.
2. Джозеф Джарратано, Гари Райли «Экспертные системы: принципы разработки и программирование»: Пер. с англ. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. — 1152 с.
3. «ISO/IEC 27001:2013, Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements.

05.07.05

С.Л. Калюлин, А.Ф. Шмаков, В.Я. Модорский

ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский университет (ПНИПУ),
Аэрокосмический факультет,
кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций», г. Пермь,
kslperm91@gmail.com, modorsky@pstu.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КРУПНОГАБАРИТНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА В ПРИКЛАДНОМ ПАКЕТЕ IOSO PM

В работе представлены результаты оптимизации конструкции крупногабаритного вентилятора, методика работы в прикладном пакете оптимизации IOSO PM с интеграцией Ansys WorkBench, трех-шаговый алгоритм работы в IOSO PM. Построена физическая и математическая модели конструкции. Найдена оптимальная длина внутренней трубы лонжерона при допустимой оптимальной толщине трубы. Параметры оптимизации – геометрические характеристики лонжерона из стеклопластика внутри лопасти вентилятора.

Ключевые слова: *оптимизация, методика расчета, крупногабаритный вентилятор из стеклопластика.*

Введение

При перемещении агрессивных воздушных смесей по воздуховодам нередко возникает проблема их стойкости и долговечности. Материалы, из которых изготовлены воздуховоды, могут подвергаться интенсивной коррозии (сталь), температурным деформациям (полипропилен, полиэтилен), либо отслаиваться от основного материала (гуммирование). Все эти недостатки можно преодолеть, если изготовить вентилятор из химстойких композиционных стеклопластиков.

Вентиляторы стеклопластиковые нашли широкое применение в агрессивных химических и коррозионных средах, имеют большое количество преимуществ по сравнению с вентиляторами из нержавеющей сталей.

Постановка задачи оптимизации конструкции вентилятора

Рассматривается модельная задача оптимизации конструкции вентилятора для разработки методики работы в прикладном пакете оптимизации IOSO PM. Составляющий элемент конструкции, который оптимизировался – лонжерон из стеклопластика, который располагается внутри лопасти (Рис. 3). В качестве параметра оптимизации была выбрана длина внутренней трубы, которая вставлена в лонжерон с прослойкой из эпоксидной смолы. Параметр оптимизации выбран один, чтобы наглядно графически представить методику работы IOSO PM. Критериями оптимизации являются: минимизация максимальных напряжений по Мизесу и минимизация прогиба трубы.

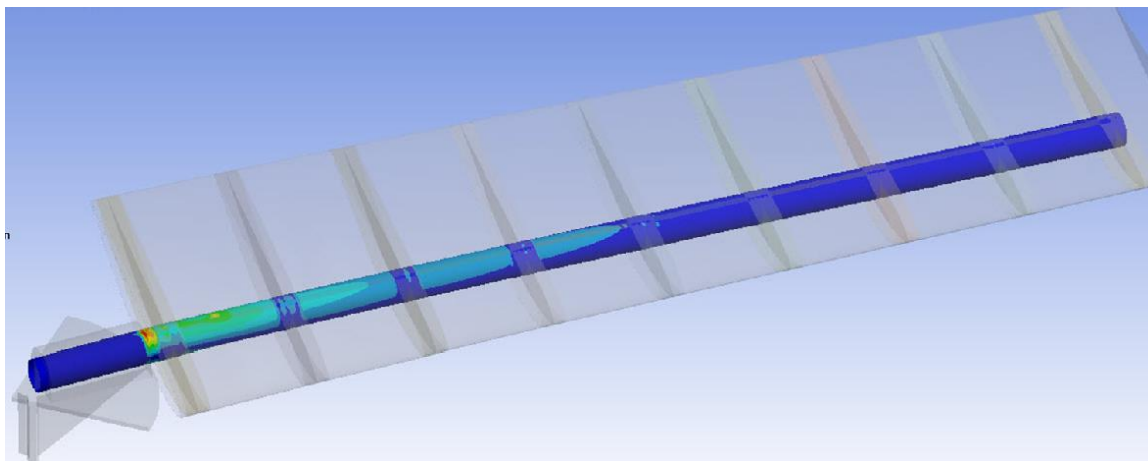


Рисунок 3 – Лонжерон из стеклопластика внутри лопасти вентилятора

Размерность задачи:

- Общее количество переменных: 1;
- Независимых переменных: 1;
- Критериев: 2;
- Ограничений: 0;
- Количество используемых ядер: 64.

Параметры алгоритма оптимизации:

- Максимальное количество итераций: 15000;
- Максимальное время решения задачи: 100 дней 0 часов 0 минут;
- Точность решения задачи: 0,001;
- Заданное количество Парето-оптимальных решений: 20.

Входные и выходные данные описаны в таблице 1:

Таблица 1

Входные и выходные данные алгоритма оптимизации

№	Независимые переменные (входные данные)	Зависимые переменные	Критерии (выходные данные)	Ограничения
1	Длина внутренней трубы из стеклопластика: 1000-9200 мм	-	Минимизация максимальных напряжений по Мизесу	-
2			Минимизация максимальных перемещений (прогиба трубы)	

Расчеты проводились для трех конструктивных вариантов с использованием инженерного комплекса IOSO PM с интеграцией ANSYS Workbench.

Анализ результатов расчетов

Информационная карта результатов оптимизационных расчетов НДС конструкции представлена в таблице 2:

Таблица 2

Информационная карта результатов оптимизационных расчетов напряженно-деформированного состояния конструкций

№	σ , МПа при длине внутр. трубы 1700 мм (из кон- струк- тивных соображе- ний)	U , мм при длине внутр. трубы 1700 мм (из кон- струк- тивных соображе- ний)	$\sigma_{\min} / l_{onm}$ МПа/мм	$U_{\min} / l_{onm}$ мм/мм	ΔL мм	Кол-во запусков задачи ANSYS (итераций)	δ , мм толщина внутр. трубы
1	22,3	457	19/3678	250/7009	3331	43	24
2	21,8	444	11,7/3679	166/5631	1952	61	34
3	21,6	439	11,5/3789	161/5324	1535	58	49

На Рис.4,5 представлены зависимости из Парето-оптимального множества решений задачи оптимизации крупногабаритного вентилятора из стеклопластика.

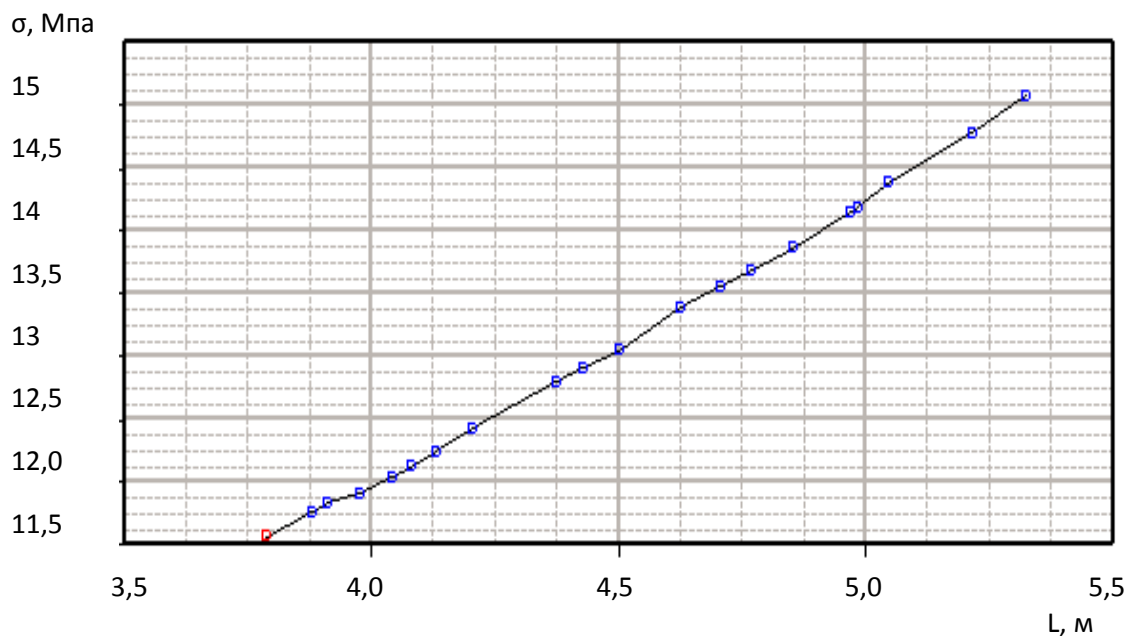


Рисунок 4 – График зависимости максимальных эквивалентных напряжения по Мизесу (Па) от длины внутренней трубы (мм) из Парето-оптимального множества при ее толщине 34 мм (*IOSO PM*)

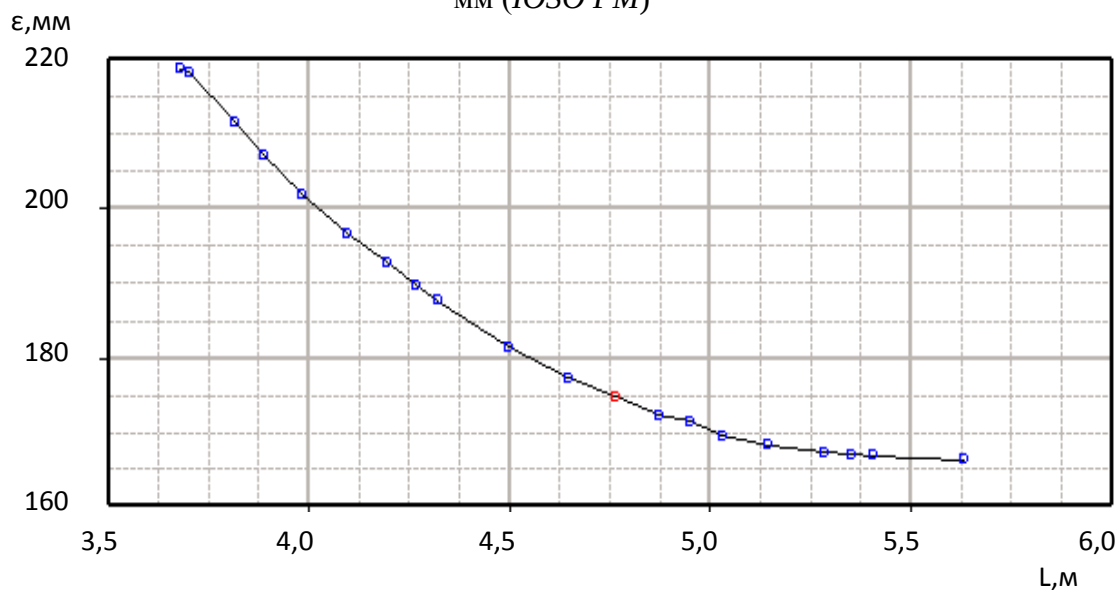


Рисунок 5 – График зависимости максимального прогиба (мм) от длины внутренней трубы (мм) из Парето-оптимального множества при ее толщине 34 мм (*IOSO PM*)

Представлена зависимость диапазона оптимальной длины внутренней трубы от ее толщины (Рис. 6):

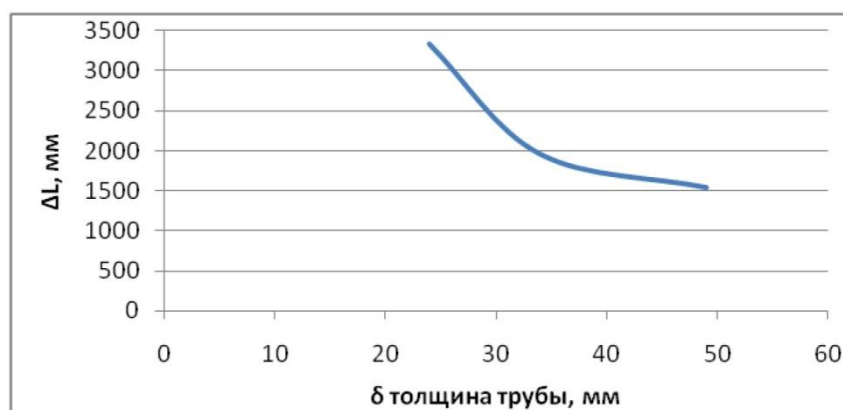


Рисунок 6 – Зависимость диапазона оптимальной длины внутренней трубы от ее толщины

В результате проведения оптимизационных расчетов задачи изгиба лонжерона можно отметить, что при толщине внутренней трубы 24 мм разброс оптимальной длины внутренней трубы лонжерона существенно выше, чем при 34 и 49 мм. Так же при толщине внутренней трубы 34 и 49 мм показатели минимизации максимальных эквивалентных напряжений, максимального прогиба близки, следовательно, увеличивать толщину трубы выше 34 мм нецелесообразно. Оптимальная длина внутренней трубы лонжерона при толщине 34 мм – от 3679 до 5631 мм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00877).

Список литературы

1. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие/ Под общ. ред. В. С. Пономаренко. - М.: Энергоатомиздат: 1998. - 376 с.: ил.
2. Справочник авиационных профилей
3. John C. Hensley. Cooling Tower Fundamentals. Compiled from the knowledge and experience of the entire SPX Cooling Technologies staff. SPX Cooling Technologies, Inc. Overland Park, Kansas USA
4. Detlev G. Kröger. Air-cooled Heat Exchangers and Cooling Towers. Tulsa, Oklahoma, PennWell Books, 2004

05.22.10

И.В. Карнаухова

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра эксплуатации автомобильного транспорта,
ikarka13@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ВОЗДУХА НА РАСХОД ТОПЛИВА

Не смотря на то, что современные автомобили отличаются своей экономичностью, проблема экономии топлива является насущной как для отечественного автомобилестроения, так и для импортного производства. Сегодня особое внимание уделяется проблемам снижения потребления топлива и существенному сокращению выброса углеводородов при сохранении высокой удельной мощности двигателей. Использование современных методов позволяет расчетным путем оценивать экономические и экологические показатели ДВС. В статье представлены экспериментальные исследования влияния изменения вязкости воздуха на расход топлива, работу и пуск двигателя.

Ключевые слова: *расход топлива; эксплуатация двигателей; вязкость воздуха; температура воздуха.*

Вопросам экономии топлива посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных ученых. Все авторы отмечают следующие направления снижения расхода топлива: уменьшение максимальной скорости движения на дорогах, улучшение организации движения, повышение мастерства вождения, улучшение технического обслуживания, улучшение или оптимизация конструкции и технологии изготовления автомобильной техники, упорядочение нормативных мер по экологии и разработка объективных норм удовлетворяющих нормам комитета по транспорту экономической комиссии ООН. Данной проблемой занимались очень многие специалисты и достигли много. Однако ни в одной из опубликованных работ такой важный с практической точки зрения вопрос, как влияние на топливную экономичность изменения параметров воздуха (температуры, давления, влажности, вязкости и плотности) во впускном коллекторе, своего решения в полной мере не нашел.

Цель статьи – определение влияния вязкости воздуха в зависимости от изменения температуры и давления на расход топлива, работу и пуск двигателя.

Изменение температуры, давления и влажности воздуха сказывается на мощности любого двигателя и колеблется в интервале $N_e=10\div15\%$ (N_e – эффективная мощность двигателя).

Повышение аэродинамического сопротивления воздуха во впускном коллекторе объясняется следующими параметрами:

1. Повышенной плотностью воздуха.
2. Изменением вязкости воздуха.
3. Характером поступления воздуха в камеру сгорания.

При больших разрежениях во впускном трубопроводе, превышающем 500 мм.рт.ст. (в частности это происходит на режимах принудительного холостого хода, торможения двигателем), воспламенение смеси в цилиндрах или вообще прекращается, или сгорание происходит вяло и в процессе расширения пламя угасает. Особенно понижение давления сказывается на воспламенении и горении обедненных смесей. В двигателях с непосредственным впрыском топлива на начальных стадиях смешения с воздухом идет достаточно быстро, так как топливо смешивается с чистым воздухом, в процессе чего часть топлива сгорает при этом все большая часть топлива впрыскивается насосом не в воздух, а в

продукты сгорания. В связи с этим скорость насыщения капель увеличивается, а скорость сгорания начинает замедляться. В этом процессе большую роль играет вязкость воздуха.

Вязкость – это свойство воздуха, характеризующееся действием сил внутреннего трения при движении его молекул относительно друг друга. Другими словами, это свойство воздуха оказывать сопротивление взаимному перемещению его молекул под действием внешней силы, то есть динамическая вязкость воздуха. А силы, тормозящие движение молекул воздуха относительно друг друга называются силами внутреннего трения или силами вязкости. Динамическая вязкость – это такое состояние воздуха, когда число молекул при движении остается подвижным, но неизменным. При этом силы стремятся выровнять скорости движения молекул относительно друг друга. При этом все молекулы разбиваются на слои (далее – потоки), скорости движения которых у стенок впускного коллектора меньше, то есть скорости убывают по направлению от центра коллектора к его стенкам. При равномерном движении и направленном потоке воздуха во впускном коллекторе существует только внутреннее трение между молекулами воздуха, которое минимально. При хаотичном движении потоков воздуха трение между потоками и, следовательно, молекулами максимально возрастает и образуется большое количество статического электричества. То же самое происходит и при нагревании воздуха, так как коэффициент вязкости среды зависит от ее температуры. Вязкость воздуха при нагревании увеличивается, в связи с увеличением скорости хаотически движущихся молекул из потока в поток. Молекулы, вылетающие из слоя около трубы (нижнего слоя) в средний, замедляют движение обоих слоев повышая внутреннюю энергию воздуха. Скорость хаотического движения молекул возрастает, пропорционально ему возрастает и внутреннее сопротивление воздуха и, как следствие, увеличивается вязкость газов. Вязкость газов при расчетах обычно оценивают динамической вязкостью, потому что в отличие от капельных жидкостей динамическая вязкость воздуха с повышением температуры увеличивается. В результате экспериментов установлено, что при давлении менее 40 кг/см² динамическая вязкость мало зависит от давления и при расчетах принимают кинематический коэффициент вязкости который равен динамическому коэффициенту вязкости воздуха отнесенному к его плотности:

$$\gamma = \frac{\eta}{\rho} \quad (1)$$

где γ – кинематическая вязкость, η – динамическая вязкость, ρ – плотность воздуха.

При движении воздуха во впускном коллекторе ДВС расстояния между молекулами воздуха очень велики по сравнению с расстояниями между молекулами жидкости. Поэтому силы взаимодействия между частицами газа малы, а, следовательно, и силы трения тоже. Несмотря на то, что в любой момент времени векторы скоростей молекул разные в движении молекул воздуха есть ряд закономерностей. Первая закономерность состоит в том, что при определенной температуре всегда можно найти средние скорости движения большинства молекул воздуха. Так при 0°C более половины молекул воздуха движутся со скоростью около 400 м/с. Вторая закономерность состоит в том, что при сильном нагревании молекулы воздуха распадаются на атомы, затем электроны и ионы. Часто при газоразряде воздуха возникает низкотемпературная плазма, что многократно увеличивает вязкость воздуха.

При этом, если рассматривать поток воздуха, то молекулы, залетающие из нижнего слоя (движущийся вдоль трубы) в средний (ближе к центру трубы), ускоряют его движение, а молекулы, залетающие из верхнего слоя в нижний, замедляют его движение. При повышении температуры скорость молекул v возрастает в результате чего увеличивается вязкость воздуха. Динамическая вязкость воздуха определяется по формуле:

$$\eta = \eta_0 \left(\frac{T}{273} \right)^{0.75} \quad (2)$$

где η – динамическая вязкость воздуха (Пуазы); η_0 – динамическая вязкость при 0°C $\eta_0=17,2$ Па·сек.

Определив динамическую вязкость, по формуле (1) определяем кинематическую вязкость воздуха в нормальных условиях, но с учетом температуры воздуха. Плотность воздуха во впускном коллекторе двигателя определяем по формуле Клапейрона-Менделеева:

$$\rho = \frac{P_{mp}}{R \cdot T_{mp}} \quad (3)$$

Подставляя формулу (3) в формулу (1) получаем:

$$\gamma = \frac{\eta \cdot T_{mp} \cdot R}{P_{mp}} \quad (4)$$

То есть кинематическую вязкость воздуха в коллекторе с учетом давления, плотности, температуры и влажности воздуха (влажность регулируется постоянной газовой в уравнении (4) для сухого воздуха $R=287$ Дж/кг·К, для влажного $R=289$ Дж/кг·К). Точно так же с учетом вышеперечисленных параметров определяем динамическую вязкость воздуха. При исследованиях особенно удобно пользоваться динамической вязкостью при низких температурах окружающего воздуха, потому что при изменении температуры воздуха эти вязкости значительно различаются. Температура воздуха определяется по формуле (3):

$$T_{mp} = \frac{P_{mp}}{\rho_{mp} \cdot R} \quad (5)$$

Подставляя в формулу (2) получаем:

$$\eta = \eta_0 \left(\frac{P_{mp}}{273 \cdot \rho_{mp} \cdot R} \right)^{0,75} \quad (6)$$

По этой формуле после расчетов получаем значения динамической вязкости воздуха.

Таблица - Динамическая вязкость воздуха

t °C	η (Па·сек) при 720 мм.рт.ст.	η (Па·сек) при 740 мм.рт.ст.	η (Па·сек) при 760 мм.рт.ст.	η (Па·сек) при 790 мм.рт.ст.
-50	14,12	14,88	14,78	15,12
-40	14,57	15,37	15,27	15,61
-30	15,07	15,85	15,76	16,15
-20	15,61	16,34	16,25	16,63
-10	15,96	16,82	16,72	17,11
0	16,41	17,29	17,20	17,62
+10	16,87	17,57	17,67	18,13
+20	17,35	17,76	18,14	18,60
+30	17,76	18,51	18,60	19,05
+40	18,23	18,96	19,06	19,51
+50	18,64	19,42	19,50	20,00
+60	19,06	19,87	19,96	20,46
+70	19,51	20,32	20,42	20,90

Расчеты показывают, что течение воздуха во впускном коллекторе двигателя носит турбулентный характер и число Рейнольдса для двигателя автомобиля КАМАЗ 740 составляет $R_e > 2328$ единиц и определяется по формуле:

$$R_e = \frac{m}{\gamma_{cp} \cdot \rho_{cp} \cdot S} \quad (7)$$

где m – массовый расход воздуха, γ_{cp} – кинематическая вязкость воздуха, ρ_{cp} – средняя плотность воздуха (таблица 2), S – площадь поперечного сечения впускного коллектора ДВС.

Испытания проводились на автомобиле КАМАЗ 5410 с двигателем 740. Из графиков видно, что более высокая температура во впускном коллекторе (подогрев воздуха с помощью нагревателя) обеспечивает увеличение динамической вязкости воздуха во

впускном коллекторе на 18% при одинаковом давлении, но разной температуре воздуха и на 7% при всех испытаниях при разном давлении от 720 до 790 мм.рт.ст. При этом расход топлива испытуемым двигателем уменьшается на 7-10% при температуре воздуха во впускном коллекторе +20°C при вязкости воздуха в интервале 17,3-20,3 Па·сек. На 5% в интервале температур -20÷+20°C и вязкости 15,6-18,1 и на 2-3% при вязкости 14,1-16,6.

При этом увеличение динамической вязкости воздуха сокращает период между началом впрыска топлива и его воспламенением, что обеспечивает более мягкую работу двигателей, то есть сгорание происходит без резкого повышения давления в камере сгорания, а так же плавный переход с одного режима работы ДВС на другой при низких температурах воздуха и обеспечивает надежный пуск двигателя при любых температурах.

Список литературы

1. Веревкин Н.И., Давыдов Н.А., Джерихов В.Б. Экономия топливно-энергетических ресурсов: учеб. пособие. СпбГАСУ: СПб., 2011. 38 с.
2. Карнаухов В.Н., Карнаухова И.В. Топливная экономичность двигателей внутреннего сгорания // Вестник Иркутского государственного технического университета, №6, 2014 с.142-146
3. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 560

05.06.13

Ю.П. Кирин к.т.н., В.В. Кирьянов

Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета (БФ ПНИПУ), klu2010@mail.ru

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

В статье изложены принципы построения оптимальных систем управления, обеспечивающих интенсификацию вакуумной сепарации губчатого титана за счёт поддержания максимально допустимой температуры процесса. Приведено описание структурных схем и алгоритмов комбинированного и импульсного управления температурой.

Ключевые слова: вакуумная сепарация, губчатый титан, максимально допустимая температура, комбинированное и импульсное управление.

Вакуумная сепарация – лимитирующая стадия, наиболее энергоёмкий и малопроизводительный процесс технологической схемы производства губчатого титана. Для повышения эффективности этого процесса предложено несколько методов [1].

1. Повышение температуры сепарации до максимально допустимого значения
2. Интенсивный прогрев блока реакционной массы
3. Ускорение переноса жидких фаз магния и хлорида магния по блоку губчатого титана

В настоящей статье рассматриваются алгоритмы и системы управления, реализующие первый из предложенных методов. Для этого потребовалась разработка нового класса систем автоматизации – оптимальных систем управления температурой, обеспечивающих интенсификацию процесса вакуумной сепарации и сокращение его длительности за счёт поддержания максимально допустимой температуры процесса [2].

При разработке оптимальных систем управления использован эволюционный подход. Структуры и функции разрабатываемых систем управления определялись сложившейся практикой создания АСУТП производства губчатого титана. Так, на первом этапе при внедрении АСУТП «Титан» оказались востребованными системы управления температурным режимом вакуумной сепарации, построенные на базе многоканальных двухпозиционных регуляторов (машин централизованного контроля) и УВК М-6000 [3]. Дальнейшее совершенствование и развитие систем управления осуществлялось в направлении разработки и внедрения новых микропроцессорных и программных средств в составе АРМ оператора процесса сепарации.

В качестве объектов управления в АСУТП «Титан» рассмотрены зоны нагрева аппарата сепарации. На рис.1 представлена структурная схема управления температурой i -й зоны нагрева аппарата.

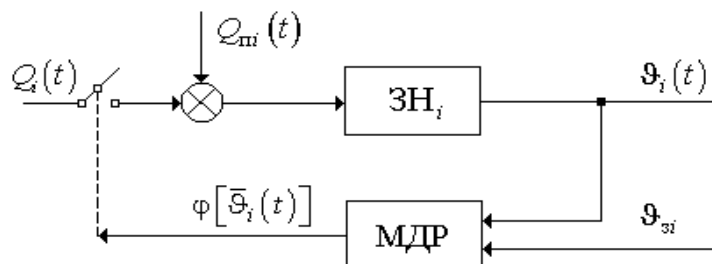


Рис. 1. Структурная схема многоканального двухпозиционного регулирования температуры сепарации

На объект действует переменное возмущение – изменение потребляемого тепла (потребляемой электрической мощности) $Q_{pi}(t)$ на очистку губчатого титана от примесей

магния и хлорида магния. Температура на выходе объекта управления $\vartheta_i(t)$ поддерживается на заданном уровне ϑ_{zi} изменением управляющего воздействия $\varphi[\bar{\vartheta}_i(t)]$ многоканальным двухпозиционным регулятором (МДР) в соответствии с алгоритмом:

$$\varphi[\bar{\vartheta}_i(t)] = \begin{cases} Q_i(t) & \text{при } \bar{\vartheta}_i(t) < \vartheta_{zi} - \Delta\vartheta_0 \\ \text{и } \vartheta_{zi} - \Delta\vartheta_0 \leq \bar{\vartheta}_i(t) \leq \vartheta_{zi} + \Delta\vartheta_0, \vartheta'_i(t) > 0; \\ 0 & \text{при } \bar{\vartheta}_i(t) > \vartheta_{zi} + \Delta\vartheta_0 \\ \text{и } \vartheta_{zi} - \Delta\vartheta_0 \leq \bar{\vartheta}_i(t) \leq \vartheta_{zi} + \Delta\vartheta_0, \vartheta'_i(t) < 0. \end{cases}, \quad (1)$$

$$\bar{\vartheta}_i(t) = \vartheta_i(\gamma T) \text{ при } \gamma T \leq t < (\gamma + 1) \cdot T, (\gamma = 1, 2, \dots)$$

где $Q_i(t)$ – номинальная мощность нагревателя i -ой зоны; $\bar{\vartheta}_i(t)$ – квантованная по времени температура; $\varphi[\bar{\vartheta}_i(t)]$ – выходная величина МДР; $2\Delta\vartheta_0$ – зона нечувствительности МДР; $\vartheta'_i(t)$ – скорость изменения температуры; T – интервал квантования по времени (период обегания датчиков); $i=1, 2, \dots, n$ – номер зоны нагрева.

В представленной на рис. 1 системе реализован принцип регулирования по отклонению: при превышении регулируемой температурой верхней границы зоны нечувствительности МДР выключает нагреватель зоны; при снижении температуры ниже границы зоны нечувствительности МДР включает нагреватель зоны.

Условие поддержания максимально допустимой температуры на разных стадиях процесса определяется соотношением [2]:

$$\vartheta_{zi}(t) = \vartheta_D^{\max} - \Delta\vartheta_{(+i)}(t), \quad (2)$$

где: $\vartheta_D^{\max} = 1050^\circ\text{C}$ – максимально допустимая температура стенки аппарата сепарации;

$\Delta\vartheta_{(+i)}(t)$ – амплитуда положительного отклонения температуры от задания.

Подставляя в (2) вместо величины $\Delta\vartheta_{(+i)}(t)$ её математическое выражение, получим:

$$\vartheta_{zi}(t) = \vartheta_D^{\max} - K_{0i}(t)[Q_i - Q_{pi}(t)] \cdot \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{\tau_{\text{выкл}i}(t) + \tau_{\text{двыкл}i}(t)}{T_{0i}(t)}\right] \right\} - \Delta\vartheta_0 \exp\left[-\frac{\tau_{\text{выкл}i}(t) + \tau_{\text{двыкл}i}(t)}{T_{0i}(t)}\right]. \quad (3)$$

где: $T_{0i}(t)$ – постоянная времени i -ой зоны нагрева;

$K_{0i}(t)$ – коэффициент усиления i -ой зоны нагрева;

$\tau_{\text{выкл}i}(t)$ – время запаздывания объекта при выключении нагревателя;

$\tau_{\text{двыкл}i}(t)$ – дополнительное время запаздывания МДР при выключении нагревателя;

Рассмотрим наихудший режим многоканального двухпозиционного регулирования температуры, заменив для этого $\tau_{\text{выкл}i}(t)$ на $\tau_{\text{выкл}i}^{\max}$ и запаздывание $\tau_{\text{двыкл}i}(t)$ на его максимально возможную величину – период обегания датчиков T . Полагаем также, что в течение всего процесса сепарации $K_{0i}(t)$, $T_{0i}(t)$ можно принять постоянными величинами [2], т.е. $K_{0i}(t) = K_{0i} = \text{const}$, $T_{0i}(t) = T_{0i} = \text{const}$. Тогда

$$\vartheta_{zi}(t) = \vartheta_D^{\max} - K_{0i}[Q_i - Q_{pi}(t)] \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{\text{выкл}i}^{\max} + T}{T_{0i}}\right) \right] -$$

$$-\Delta\vartheta_0 \exp\left(-\frac{\tau_{\text{выкл}i}^{\max} + T}{T_{0i}}\right). \quad (4)$$

Как видно из соотношений (2), (3), (4), для поддержания заданных значений температуры на максимально возможном уровне необходимо минимизировать $\Delta\vartheta_{(+i)}(t)$.

Выражение (4) представляет собой оптимальное управление – математическую зависимость, связывающую заданное значение температуры i -й зоны нагрева аппарата сепарации и потребляемую зоной нагрева мощность.

Для поддержания максимально допустимой температуры за счёт снижения $\Delta\vartheta_{(+i)}(t)$ разработана комбинированная позиционная система с корректирующим сигналом на входе регулятора (рис. 2) [4].

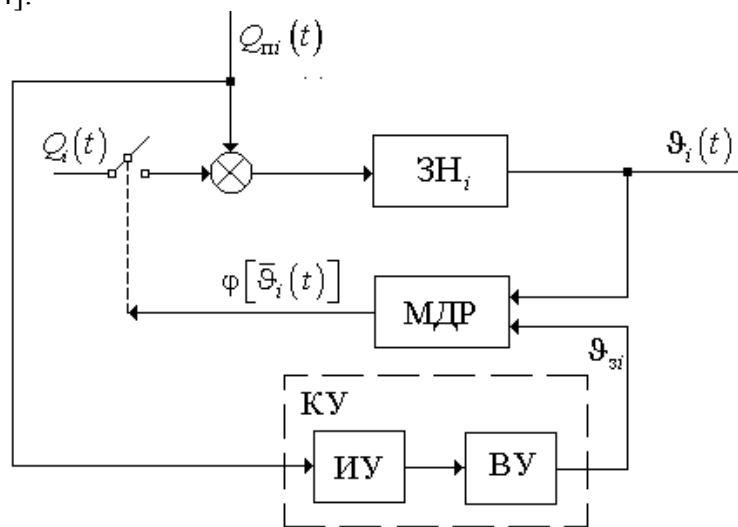


Рис.2. Структура комбинированной позиционной системы управления температурой сепарации с корректирующим сигналом на входе регулятора

Данная система управления включает систему регулирования по отклонению (см. рис. 1), в которой дополнительно предусмотрено компенсирующее устройство (КУ), состоящее из измерительного устройства (ИУ) и вычислительного устройства (ВУ). При этом ИУ измеряет потребляемую мощность, а ВУ рассчитывает по алгоритму, приведенному ниже, заданное значение температуры ϑ_{zi} и устанавливает его в МДР.

Алгоритм функционирования системы после преобразования (4) имеет следующий вид:

$$\vartheta_{zi} = M_i + N_i \cdot Q_{pi}, \quad (5)$$

где M_i , N_i – постоянные коэффициенты:

$$M_i = \vartheta_{д}^{\max} - K_{0i} Q_i \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{\text{выкл}i}^{\max} + T}{T_{0i}}\right) \right] - \Delta\vartheta_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{\text{выкл}i}^{\max} + T}{T_{0i}}\right), \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$N_i = K_{0i} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{\text{выкл}i}^{\max} + T}{T_{0i}}\right) \right], \text{ } ^\circ\text{C}/\text{кВт}.$$

Таким образом, заданное значение температуры МДР изменяется по линейному закону в зависимости от величины потребляемой мощности.

Возможен другой способ повышения температуры сепарации за счёт снижения $\Delta\vartheta_{(+i)}(t)$ – коррекция процесса регулирования. Для этой цели разработана комбинированная позиционная система с корректирующим сигналом на входе объекта (рис. 3) [5].

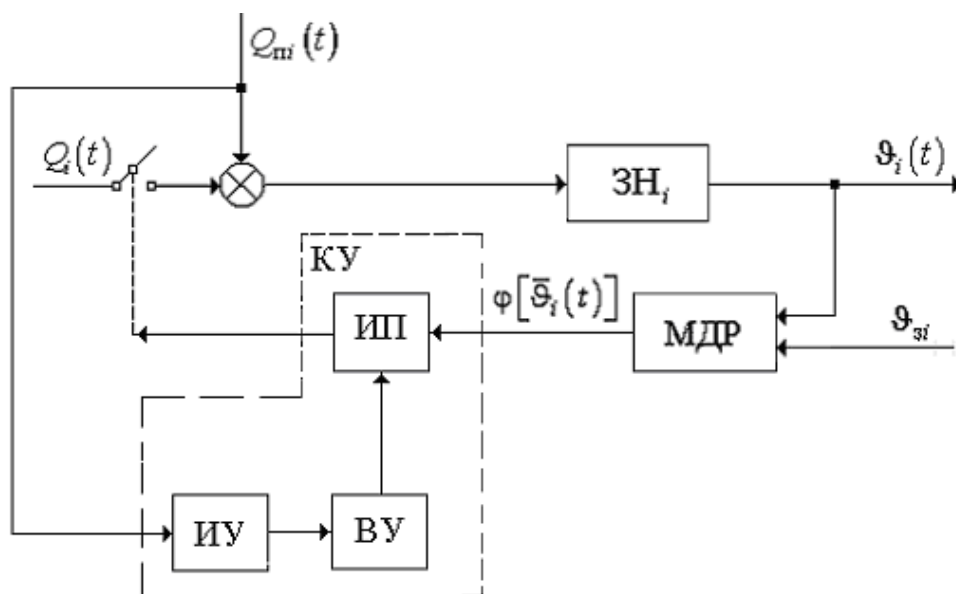


Рис.3. Структура комбинированной позиционной системы управления температурой сепарации с корректирующим сигналом на входе объекта

Компенсирующее устройство (КУ) состоит из измерительного устройства (ИУ), вычислительного устройства (ВУ) и импульсного прерывателя (ИП). Потребляемая мощность измеряется ИУ, ВУ рассчитывает по результатам измерения настроечный параметр ИП (скважность работы).

Алгоритм функционирования системы имеет вид:

$$\Theta_{zi} = M'_i - N'_i \cdot Q_{ni} \quad (6)$$

где M'_i , N'_i – постоянные коэффициенты:

$$M'_i = \Theta_{д}^{\max} - \Delta\Theta_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{\text{ВЫК}i}^{\max} + T}{T_{0i}}\right), \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$N'_i = K_{0i} \cdot (m_i - 1) \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{\text{ВЫК}i}^{\max} + T}{T_{0i}}\right) \right], \text{ } ^\circ\text{C/кВт},$$

в последней формуле m_i – кратность притока мощности нагревателя i -й зоны нагрева.

Как видно из (6), заданное значение температуры Θ_{zi} повышается при снижении потребляемой мощности. Коррекция процесса регулирования при помощи ИП достигается за счет поддержания в ходе процесса постоянной кратности притока мощности нагревателя (отношение подводимой мощности к потребляемой).

Другим подходом к решению задачи оптимального управления является построение в АРМ оператора импульсных позиционных систем управления, в которых повышение качества регулирования температуры обеспечивается выбором оптимальных параметров настроек импульсного регулятора [6].

Структурная схема такой системы управления представлена на рис. 4. На вход объекта управления $ЗН_i$ воздействует неконтролируемое возмущение $Q_{mi}(t)$. Выходная величина $\Theta_i(t)$ поддерживается на заданном уровне Θ_{zi} импульсным регулятором (ИР), состоящим из аналогового регулятора (АР), широтно-импульсного модулятора (ШИМ) и позиционного исполнительного механизма (ПИМ).

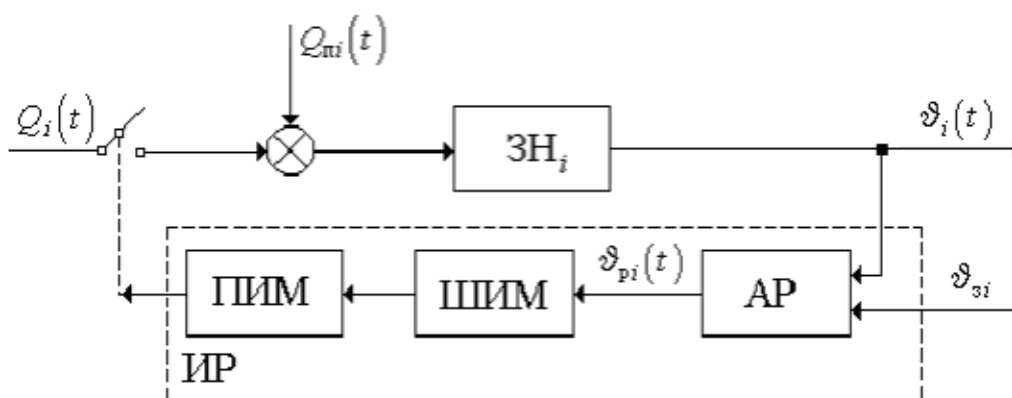


Рис. 4. Структурная схема импульсной позиционной системы управления температурой сепарации

АП преобразует ошибку регулирования $\varepsilon(t) = \vartheta_{zi} - \vartheta_i(t)$ в выходную величину регулятора $\vartheta_{pi}(t)$ в соответствии с ПИ или ПИД-алгоритмом. ШИМ формирует последовательность импульсов с постоянным периодом повторения и длительностью, меняющейся пропорционально $\vartheta_{pi}(t)$. Таким образом, ШИМ, воздействуя на ПИМ, изменяет скважность включения $Q_i(t)$ пропорционально $\vartheta_{pi}(t)$, обеспечивая тем самым поддержание заданного значения ϑ_{zi} регулируемой величины. В такой системе управления ошибка регулирования минимальна и не превышает $\pm 2^\circ\text{C}$.

По результатам исследований выполнены расчёты заданных значений температуры зон нагрева.

1. Многоканальная двухпозиционная система регулирования по отклонению. Заданные значения температуры зон нагрева аппарата сепарации назначаются равными 1000°C в течение всего процесса.

2. Комбинированная позиционная система управления с корректирующим сигналом на входе регулятора.

Заданные значения температуры зон нагрева аппарата сепарации изменяются от 1040°C в начале, до 1016°C в конце процесса.

3. Комбинированная позиционная система управления с корректирующим сигналом на входе объекта.

Заданные значения температуры зон нагрева аппарата сепарации - 1040°C в течение всего процесса.

4. Импульсная позиционная система управления.

Заданные значения температуры зон нагрева аппарата сепарации - 1048°C в течение всего процесса.

Результатом практической реализации рассмотренного метода стало внедрение оптимальных систем управления температурой в АСУТП «Титан» и АРМ оператора вакуумной сепарации. Это позволило сократить длительность процесса на 5-10% и снизить энергозатраты при получении тонны титановой губки на 400-500 кВт·ч [7].

Дальнейшее совершенствование управления вакуумной сепарацией, с применением двух других предложенных выше методов, рассматривается в последующих статьях настоящего вестника.

Список литературы

1. Кирин Ю.П., Кирьянов В.В. Эвристические методы совершенствования вакуумной сепарации губчатого титана. – //Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №1. – С. 206-208.
2. Кирин Ю.П., Беккер В.Ф., Затонский А.В. Совместное проектирование технологии и системы управления вакуумной сепарацией губчатого титана. – Пермь: ПГТУ, 2008. – 124с.
3. Скорик В.Ф., Бирюков В.Б., Дегтярик Н.В. и др. Автоматизированная система управления процессом производства губчатого титана «Титан». //Цветная металлургия. – 1984. – №1. – С. 41-45.
4. А.с. 790816 СССР. Способ регулирования процесса сепарации титана / Ю.П.Кирин, Б.А.Оверин, А.И.Гулякин и др. - Оpubл. в БИ, 2000, №4
5. Патент 1797288 РФ. Способ управления аппаратом вакуумной сепарации губчатого титана / Ю.П. Кирин, Ю.А. Протасов, Н.А. Носков и др. – Оpubл. в БИ., 1996, №27.
6. Патент 2153017 РФ. Способ управления процессом вакуумной сепарации губчатого титана / С.В. Евсеев, Ю.П. Кирин, Д.А. Рымкевич и др. – Оpubл. в БИ., .2000, №20.
7. Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Бильфельд Н.В. Современные направления совершенствования и развития производства губчатого титана // Титан. – 2003. – № 2(13). – С. 11–16.

05.06.13

Ю.П. Кирич к.т.н., В.В. Кирьянов

Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета (БФ ПНИПУ), klu2010@mail.ru

ВАКУУМНАЯ СЕПАРАЦИЯ ГУБЧАТОГО ТИТАНА С РЕГУЛИРУЕМЫМ МАНОМЕТРИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ

В статье изложены принципы построения системы управления вакуумной сепарацией, обеспечивающей повышение скорости прогрева реакционной массы за счёт управления остаточным давлением в аппарате сепарации. Приведено описание структурной схемы и алгоритмов управления остаточным давлением.

Ключевые слова: *вакуумная сепарация, губчатый титан, остаточное давление, программное управление.*

В настоящей статье рассматриваются алгоритмы и системы управления, реализующие предложенный в работе [1] метод повышения скорости прогрева блока реакционной массы в аппарате сепарации.

Реакционная масса представляет собой блок губчатого титана (55-60%), поры которого заполнены магнием (25-35%) и хлоридом магния (9-12%). Цель вакуумной сепарации – очистка титановой губки от примесей магния и хлорида магния. Реакционную массу нагревают в герметичном аппарате сепарации, в котором создают вакуум. При этом магний и хлорид магния, имеющие достаточно высокое давление паров, испаряются и отгоняются в конденсатор. В ходе процесса температура стенки аппарата поддерживается автоматическим регулятором на максимально допустимом уровне.

Известно, что процесс вакуумной сепарации заканчивается в момент времени, когда вся титановая губка в аппарате прогревается до температуры 940...960 °С [2]. Параметром для определения окончания процесса служит температура центральной точки блока реакционной массы. Для сокращения длительности процесса целесообразно обеспечивать интенсивный прогрев реакционной массы до указанной выше температуры. Однако нагрев блока реакционной массы в промышленном аппарате имеет ряд особенностей, существенно затрудняющих решение этой задачи.

По характеру изменения температуры центральной точки реакционной массы процесс сепарации условно разделяют на три периода [3]:

А – начальный нагрев реакционной массы при 650...700 °С;

Б – интенсивная отгонка примесей магния и хлорида магния при 680...750 °С;

В – высокотемпературная выдержка с последующим нагревом блока губчатого титана до 940...960 °С и испарением оставшихся примесей.

В течение периодов А и Б основное количество примесей интенсивно испаряется с открытой поверхности крупных пор и капилляров титановой губки при сравнительно низкой температуре реакционной массы, зависящей от величины вакуума (остаточного давления) в аппарате. Реакционная масса при этом имеет достаточно высокую теплопроводность, изменяющуюся от 0,1 до 0,05 м²/ч. В течение периода В наблюдается медленный монотонный рост температуры центральной части блока от 750 °С до 940...960 °С с испарением из мелких пор и капилляров незначительного количества примесей – примерно 2% от общего их количества. Реакционная масса в этом периоде представляет практически чистую титановую губку с низкой теплопроводностью 0,0035 м²/ч. Вследствие этого нагрев центральной части блока до 940...960 °С, сопровождаемый испарением летучих примесей, протекает в течение длительного времени и требует значительных энергозатрат.

Один из резервов сокращения длительности процесса сепарации состоит в совместной разработке технологического режима и системы управления, обеспечивающих повышение

скорости прогрева блока реакционной массы за счет регулирования остаточного давления в аппарате сепарации в период отгонки основного количества магния и хлорида магния. Существует оптимальный режим изменения остаточного давления в аппарате, при котором одновременно с отгонкой основного количества примесей блок реакционной массы интенсивно прогревается до максимальной температуры [4]. При этом в начальной стадии процесса высокая температуропроводность реакционной массы способствует повышению скорости её прогрева. Отгонка оставшихся примесей магния и хлорида магния на заключительной стадии процесса проводится при уже прогревом до максимальной температуры блоке реакционной массы, и сопровождается непрерывным и глубоким вакуумированием аппарата. Такой технологический режим обеспечивает оптимальные по быстродействию нагрев и испарение примесей из реакционной массы.

Задача управления решается в два этапа. Сначала определяют оптимальные технологические режимы – диапазон изменения остаточного давления и скорость откачки аппарата сепарации, обеспечивающие повышение температуры блока реакционной массы. Затем разрабатывают систему автоматизации найденных режимов изменения остаточного давления с применением программного регулятора (ПР). На практике задача может быть решена приближенно, так как в производственных условиях температура внутренних точек реакционной массы недоступна для прямого измерения. Поэтому не представляется возможным создать контур автоматического регулирования «температура реакционной массы – остаточное давление в аппарате». Блок реакционной массы рассматривают как объект управления, температура которого косвенно регулируется ПР путем изменения по заданной программе остаточного давления в аппарате сепарации.

Для одного из типов промышленных аппаратов сепарации определены диапазоны изменения остаточного давления и скорости откачки аппарата сепарации, обеспечивающие нагрев реакционной массы одновременно с испарением основного количества примесей [5]. Для этого необходимо, используя высокую температуропроводность, нагревать реакционную массу до 940...960 °С в начале сепарации при остаточном давлении аргона в аппарате 53...65 кПа. Затем откачивают аппарат в процессе испарения основного количества примесей со скоростью 0,65...0,95 л/с до остаточного давления 50...70 Па с последующим вакуумированием аппарата бустерным насосом.

В общем случае с учетом рассмотренных закономерностей нагрева блока реакционной массы и его теплофизических характеристик возможны следующие алгоритмы изменения остаточного давления в аппарате сепарации [4].

1. В течение периода А, когда блок реакционной массы имеет высокую температуропроводность, достаточно создать в аппарате начальное остаточное давление аргона P_1 и провести за короткое время нагрев блока реакционной массы без испарения примесей до максимальной температуры центра 940...960°С. Затем для поддержания температуры на этом уровне в течение периода Б откачивают аппарат с заданной скоростью до значения остаточного давления P_2 [5,6] Такой технологический режим может быть автоматизирован с помощью ПР (рис. 1).

В течение периода А задание ПР устанавливают равным $P_1 = \text{const}$. В течение периода Б задание снижают по линейному закону до значения остаточного давления P_2 . Дальнейшее испарение в течение периода В оставшихся примесей проводят при уже нагретом до максимальной температуры блоке реакционной массы с непрерывным вакуумированием аппарата в соответствии с принятой в металлургическом цехе технологической инструкцией.

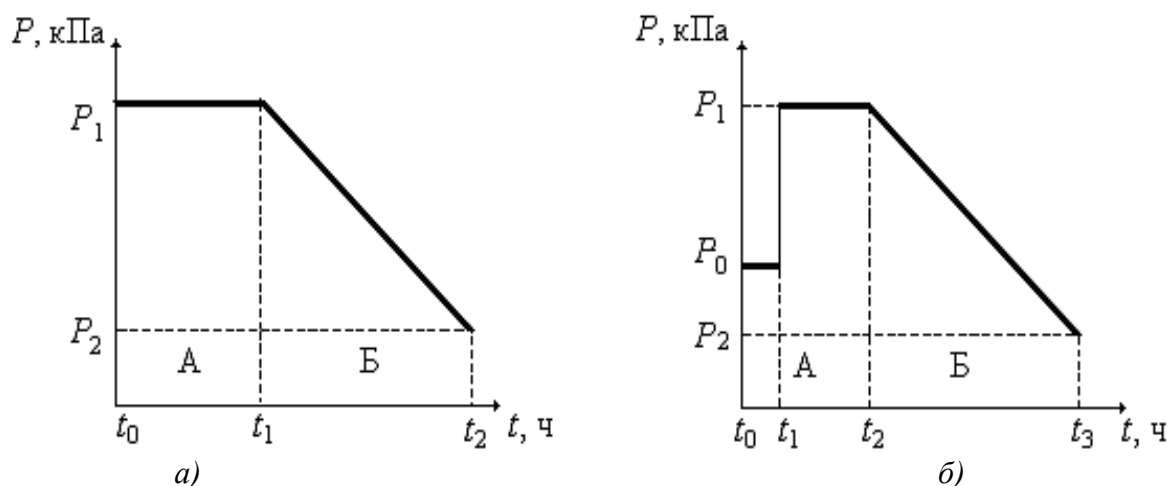


Рис. 1. Программное управление остаточным давлением аппарата сепарации:
а – без дегазации реакционной массы; б – с дегазацией реакционной массы

2. В течение периода А проводят дегазацию блока реакционной массы (удаление образующихся в процессе нагрева кислорода и водорода) для повышения качества губчатого титана. Аппарат сепарации предварительно вакуумируют в начале периода А до остаточного давления P_0 с последующей подачей в аппарат аргона до остаточного давления P_1 [7]. В данном случае в начале периода А задание ПР равно $P_0 = \text{const}$ с последующим повышением до значения $P_1 = \text{const}$ (рис. 1). Затем снижают задание ПР в течение периода Б по линейному закону до значения P_2 . Далее, как и в предыдущем случае, аппарат в течение периода В вакуумируют в соответствии с действующей технологической инструкцией.

Следует заметить, что значения остаточного давления P_0 , P_1 , P_2 и продолжительности периодов А, Б должны уточняться для конкретного типа промышленных аппаратов сепарации.

ПР системы управления (рис. 2) по результатам измерений величины остаточного давления $P(t)$ в аппарате сепарации (АС) поддерживает заданную программу $P_3(t)$ изменения остаточного давления (см. рис. 1) с помощью установленных на линии вакуумирования и линии подачи аргона исполнительных механизмов ИМ1, ИМ2.

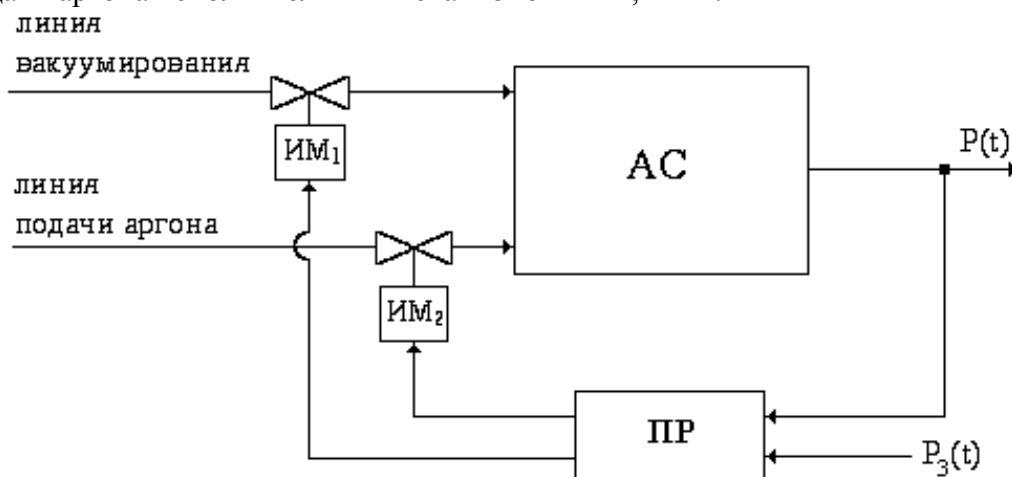


Рис. 2. Структурная схема системы программного управления остаточным давлением аппарата сепарации

В зависимости от выбранного технологического режима ИМ2 используют для управления подачей аргона в АС в течение периода А (режим без дегазации реакционной массы) или на интервале $t_1 < t < t_2$ периода А (режим с дегазацией реакционной массы), а ИМ1 – для управления режимом вакуумирования АС в течение периода Б и для дополнительного вакуумирования АС на интервале $t_0 < t < t_1$ периода А (режим с дегазацией реакционной массы).

По предварительным оценкам программное управление манометрическим режимом реакционной массы позволит сократить продолжительность процесса на 10-15% [8]. Для практической реализации такого способа управления требуется оснащение аппарата схемой, представленной на рис. 2.

Список литературы

1. Кирин Ю.П., Кирьянов В.В. Оптимальное управление температурой вакуумной сепарации губчатого титана. // Научно-технический вестник Поволжья. – В настоящем сборнике.
2. Металлургия титана. / В.В. Сергеев, Н.В. Галицкий, В.П. Киселев, В.М. Козлов. – М.: Металлургия, 1971. – 320с.
3. Андреев А.Е., Мальшин В.М., Кропачев В.К. Теплофизические исследования процесса вакуумной сепарации губчатого титана // Сб. Вакуумные процессы в цветной металлургии. – Алма-Ата: Наука, 1971. – С. 166-170.
4. Кирин Ю.П., Беккер В.Ф., Затонский А.В. Совместное проектирование технологии и системы управления вакуумной сепарацией губчатого титана. – Пермь: ПГТУ, 2008. – 124с.
5. Патент 1812808 РФ. Способ сепарации титансодержащей реакционной массы / Ю.П. Кирин, Н.А. Носков, В.И. Лидерман, В.А. Бушмакин, А.И. Титаренко. – Оpubл. в БИ, 1996, №24.
6. Патент 2067127 РФ. Способ сепарации титансодержащей реакционной массы / Ю.П. Кирин, Н.А. Носков, С.В. Мушков. – Оpubл. в БИ, 1996, №27.
7. Патент 1818858 РФ. Способ сепарации титансодержащей реакционной массы / Ю.П. Кирин, Н.А. Носков, С.В. Мушков. – Оpubл. в БИ, 1996, №24.
8. Кирин Ю.П. Разработка системы управления температурным режимом реакционной массы процесса сепарации титана. // Научно-техническая конференция «Вопросы экологии и рационального природопользования Березниковско-Соликамского экономического района»: Тез. докл. – Березники. – 1991. – С. 54-55.

05.06.13

Ю.П. Кирич к.т.н., В.В. Кирьянов, В.А. Тихонов

Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета (БФ ПНИПУ), klu2010@mail.ru

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ВАКУУМНАЯ СЕПАРАЦИЯ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

В статье изложены результаты разработки энергосберегающей технологии вакуумной сепарации, основанные на снижении рабочей температуры процесса. Рассмотрены способы управления температурным режимом вакуумной сепарации, реализующие данную технологию.

Ключевые слова: вакуумная сепарация, губчатый титан, скорость нагрева и охлаждения, тепломассоперенос, энергосберегающая технология.

Внедрение оптимальных систем управления, обеспечивающих поддержание максимально допустимой температуры вакуумной сепарации, улучшило её технологические показатели: сократилась длительность процесса и снизились энергозатраты [1]. Вместе с тем, вакуумная сепарация остаётся наиболее энергоёмким процессом в производстве губчатого титана. По данным работы [2] на получение одной тонны губчатого титана требуется затратить свыше 5МВт·ч электроэнергии. Поэтому снижение энергозатрат вакуумной сепарации является одной из актуальных задач производства губчатого титана.

Несмотря на отмеченные преимущества высокотемпературной вакуумной сепарации, один из её недостатков состоит в том, что при высокой температуре процесса увеличиваются тепловые потери аппарата сепарации, на компенсацию которых требуются значительные энергозатраты. Снижение тепловых потерь аппарата и, следовательно, снижение энергозатрат, возможно за счёт снижения рабочей температуры процесса. При этом не должны ухудшаться технологические показатели процесса и, в частности, не должно произойти увеличение длительности процесса и снижение качества титановой губки. Таким образом, возникает задача энергосберегающего управления температурным режимом при сохранении достигнутых технологических показателей процесса.

Решение задачи основывается на ускорении переноса жидких фаз примесей магния и хлорида магния из центральной части блока титановой губки к его поверхности и осуществляется в два этапа [3]. На первом этапе определяются технологические режимы, обеспечивающие перемещение примесей к поверхности блока. На втором – разрабатывается система автоматизации найденных технологических режимов.

Рассмотрим особенности теплопереноса и связанного с ним массопереноса примесей в блоке губчатого титана на разных стадиях процесса.

В начальной стадии процесса значительная часть примесей испаряется внутри блока губчатого титана. Это объясняется особенностями нагрева реакционной массы. При интенсивном нагреве блока реакционной массы, сопровождаемым испарением примесей, поверхность блока быстро нагревается до 900...1050°C, а нагрев центральной части протекает значительно медленнее. При этом между «горячей» поверхностью и «холодным» центром блока возникает температурный градиент 250...350 °C.

Процесс сепарации аналогичен процессу сушки влажных пористых тел в вакууме [4]. Принимая во внимание законы оптимального переноса тепла и влаги (градиенты влагосодержания и температуры должны иметь одинаковое направление), можно предположить, что в начальной стадии процесса сепарации температурный градиент затрудняет (тормозит) перенос жидких магния и хлорида магния из центра к поверхности реакционной массы, так как имеет противоположное перемещению жидкости направление. Требуются длительная высокотемпературная выдержка блока и значительные энергозатраты для испарения примесей внутри реакционной массы, в её центральной части. Поэтому

актуальной задачей является разработка технологических режимов, обеспечивающих массоперенос к поверхности блока и повышение скорости испарения примесей.

Один из таких технологических режимов предложен в работе [5]. Оказалось целесообразным в начальной стадии процесса, в период испарения основного количества примесей, нагревать блок реакционной массы со скоростью $0,02 \dots 0,9$ °C/мин. При этом температуры поверхности и центра выравниваются, температурный градиент снижается и не оказывает существенного сопротивления переносу жидких магния и хлорида магния к поверхности блока.

При существующей (высокотемпературной) технологии вакуумной сепарации наиболее длительной и энергоемкой является стадия высокотемпературной выдержки блока реакционной массы. Это обусловлено низкой скоростью испарения хлорида магния из мелких пор и капилляров губчатого титана. Поэтому изучение особенностей отгонки из губчатого титана последних $2 \dots 3$ % хлорида магния на заключительной стадии рассматривают как одно из основных направлений исследования процесса сепарации.

Известно, что на стадии высокотемпературной выдержки температура в разных точках блока губчатого титана неодинакова [6]. Это приводит к возникновению дополнительных движущих сил, осуществляющих перемещение жидкости и пара в капиллярах по механизму неизомермического переноса вещества. В зависимости от распределения температур по блоку губчатого титана, неизомермический перенос может способствовать или препятствовать удалению хлорида магния.

Установлено, что в процессе охлаждения блока реакционной массы после высокотемпературной выдержки за счет изменения температурных полей происходит поворот массопотока хлорида магния от центра к поверхности блока, причем скорость перемещения жидкого хлорида магния к поверхности блока зависит от скорости охлаждения блока реакционной массы. Известна технология вакуумной сепарации, в которой по окончании высокотемпературной выдержки отключают электронагрев печи, в аппарат задают избыточное давление аргона и охлаждают блок реакционной массы в атмосфере аргона. Однако под избыточным давлением аргона не происходит испарения хлорида магния. Поэтому для повышения скорости сепарации на стадии высокотемпературной выдержки предложен технологический режим, предусматривающий одновременное вакуумирование и охлаждение блока реакционной массы в печи сепарации со скоростью $0,03 \dots 1,7$ °C/мин после отгонки из него магния и основного количества хлорида магния [7]. При этом центральная часть блока губчатого титана постепенно становится более «горячей» по отношению к охлаждаемой «холодной» поверхности блока, и хлорид магния, перемещаясь по капиллярам, испаряется с его поверхности.

С учётом вышеизложенного, температурный режим предлагаемой низкотемпературной технологии может быть представлен в виде графика, приведённого на рис.1. Как видно из данного графика, процесс сепарации разделён на отдельные периоды:

I - нагрев реакционной массы с максимально возможной скоростью (включением нагревателей аппарата на полную мощность) до температуры начала испарения примесей T_n ;

II - нагрев реакционной массы до температуры выдержки T_v с заданной скоростью нагрева;

III - высокотемпературная выдержка реакционной массы при температуре T_v ;

IV - охлаждение с заданной скоростью реакционной массы до температуры окончания процесса T_k .

Длительность указанных периодов может быть рассчитана по известной методике [8].

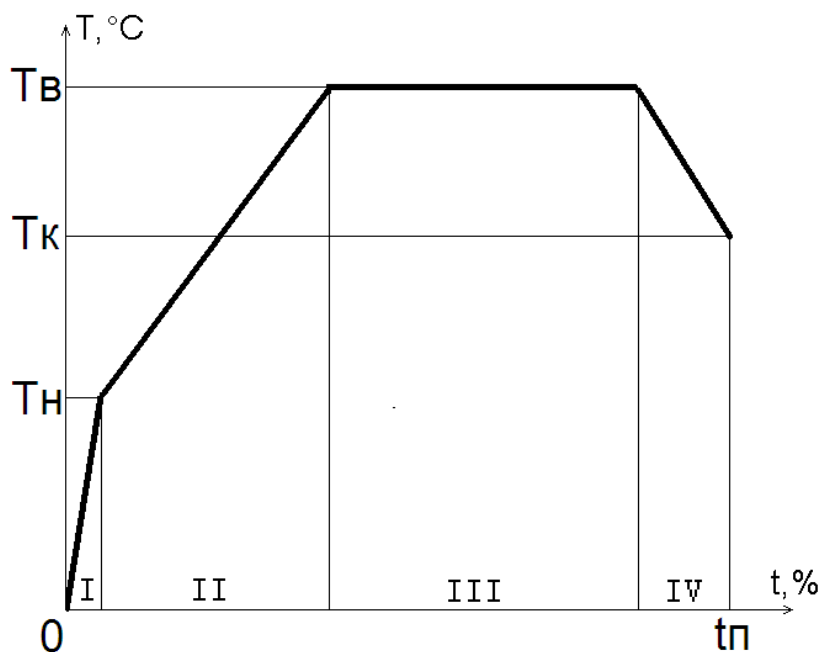


Рис.1 Температурный режим энергосберегающей технологии вакуумной сепарации: t_n – полная длительность процесса сепарации.

Введение низкотемпературных периодов II и IV позволяет уменьшить длительность периода высокотемпературной выдержки III и, тем самым, снизить общие энергозатраты процесса сепарации.

Температурный режим энергосберегающей технологии (рис.1) реализован с помощью импульсной системы управления [1], дополненной программным задатчиком температуры. В результате внедрения такой системы управления, энергозатраты на получение одной тонны губчатого титана снизились на 150-180 кВт·ч.

Таким образом, предложенный подход позволил создать низкотемпературную технологию вакуумной сепарации, которая имеет преимущества по сравнению с традиционной высокотемпературной технологией.

Список литературы

1. Кирин Ю.П., Кирьянов В.В. Оптимальное управление температурой вакуумной сепарации губчатого титана. // Научно-технический вестник Поволжья. – В настоящем сборнике.
2. Нечаев В.Н. Тепломассоперенос в реакторе получения пористого титана магнетермическим методом. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2014. – 16с.
3. Кирин Ю.П., Беккер В.Ф., Затонский А.В. Совместное проектирование технологии и системы управления вакуумной сепарацией губчатого титана. – Пермь: ПГТУ, 2008. – 124с.
4. Металлургия титана. / В.В. Сергеев, Н.В. Галицкий, В.П. Киселев, В.М. Козлов. – М.: Металлургия, 1971. – 320с.
5. Патент 2070593 РФ. Способ вакуумной сепарации губчатого титана / Ю.П. Кирин. – Оpubл. в БИ., 1996, №35.
6. Скрыпнюк В.М., Ушакова В.А., Туканов А.Н., Поплавко В.Г. Неизотермический массоперенос хлористого магния по блоку губчатого титана в процессе вакуумной сепарации. // Сб. Металлургия и химия титана / Институт титана. – Запорожье. – 1976. – Т. 12. – С.27-32.
7. Патент 2061774 РФ. Способ вакуумной сепарации губчатого титана / Ю.П. Кирин. – Оpubл. в БИ., 1996, №16.
8. Немчинов С.М., Тихонов В.А., Кирин Ю.П., Кирьянов В.В. Разработка энергосберегающей технологии вакуумной сепарации губчатого титана. // Молодёжная наука в развитии регионов: материалы III-й Всероссийской конференции студентов и молодых учёных. –Березники: БФ ПНИПУ. – 2013. – С.287-289.

05.23.07(16)

Т.В. Колесникова

Национальный исследовательский университет Московский государственный строительный университет (МГСУ), институт Жилищно-коммунального комплекса, кафедра Городского строительства, коммунального хозяйства и сервиса
Москва, 123477@mail.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЫБОЗАЩИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В статье рассматриваются актуальные проблемы природоохраны внутренних водоемов. Рост темпов водопотребления вызывает необходимость оснащать водозаборы более эффективными средствами рыбозащиты. Описываются конструктивные схемы рыбозащитных комплексов, позволяющие обеспечить на водозаборах не только рыбоохранные мероприятия, но и защитить от попадания в их окна: мусора, ледовых образований, наносов и других механических включений.

Ключевые слова: водозаборные сооружения, ледовые образования, рыбозащитный комплекс, мусор, воздушно-пузырьковые струи.

В настоящее время на водоемах России эксплуатируется более 30 тыс. водозаборов. Работа этих сооружений приводит к гибели миллиардов личинок и мальков рыб. Такая экологическая обстановка и рост темпов водопотребления вызывает необходимость оснащения водозаборов специальными устройствами и комплексами, обеспечивающими охрану рыбной молоди. Несмотря на большое разнообразие, разработанных в настоящее время технических решений по рыбозащите ее эффективность на практике не велика.

Наиболее распространенными в настоящее время среди рыбозащитных сооружений являются - сетчатые. Основной недостаток сетчатых сооружений является высокий уровень травмируемости молоди рыбы, попадающей вместе с водными массами забираемыми водозабором на сеточное полотно [1,2].

Кроме этого при эксплуатации сетчатых заградителей возникает опасность забивки окон водоприемник ледовыми образованиями, завала наносами обрастания их ракушками [1,2]. Подобные затруднения при работе водозаборных сооружений возникают и при использовании на водозаборах в качестве рыбозащиты фильтрующих преград, которые также нашли широкое распространение [1,2].

Нашли использование конусные рыбозащитные устройства. Однако, эти устройства могут выйти из строя из-за ледошуговых осложнений, довольно часто случающиеся на водозаборах, а также из-за забивки их мусором.

Как сетчатые и фильтрующие сооружения, так и конусные рыбозащитные устройства сложны в эксплуатации [2].

В 80-е годы для защиты водозаборных сооружений от попадания в водоприемные окна ледовых образований с успехом начала использоваться пневмозащита[3,4,5,6,7]. Простота конструкции, отсутствие сложностей при монтаже, использование ее как на проектируемых, так и уже на эксплуатируемых объектах, позволили внедрить этот способ защиты на ряде водозаборных сооружений г. Нижнего Новгорода на р. Волге на русловом водозаборе в виде криба. ТЭЦ ГАЗ; г.Астарахи на р.Волга на береговом водозаборе коммунального водоснабжения; г.Владимира на рр.Нерль и Клязьма на русловом и береговом водозаборах коммунального водоснабжения, г.Пскова на р. Великай и г.Костромы на р.Волге на береговых водозаборах коммунального водоснабжения. Исследования, проведенные на лабораторных моделях и в натурных условиях, а также испытания пневмозащиты на водозаборах в летний и осенне-зимний период показали ее высокую эффективность[4].

На основе обобщения результатов лабораторных, натурных и теоретических исследований [8,9,10], обследования условий эксплуатации водозаборов была разработана методика

расчета рыбозащитных комплексов применительно к водозаборным сооружениям и внедрены на: береговом водозаборе г.Москвы ТЭЦ ЗИЛ в Нагатинском затоне; на береговых водозаборах МОСЭНЕРГО ТЭЦ 12, ГЭС 1, ТЭЦ 22, ТЭЦ 16, ТЭЦ 9, ТЭЦ 20 на р. Москве, на водозаборах г.Шатуры ГРЭС 5 в системе озер; на береговых водозаборах г.Гурьева на р.Урал; на ковшевых водозаборах г.Сыктывкар Сыктывкарского лесопромышленного комплекса и на ковшевом водозаборе коммунального хозяйства на р. Вычегда[9].

Учитывая разнообразные климатические условия и различные конструктивные схемы самих водозаборных сооружений были разработаны следующие компоновочные схемы рыбозащитных комплексов, с использованием воздушно-пузырьковых струй для ковшевых водозаборов: [8]

- Принасосная компоновка характеризующаяся тем, что рабочую часть ПБК перфорированные трубы располагают прямо перед зоной водозабора

- аванкамерно-канальная компоновка, когда перфорированные трубы ПБК располагают в аванкамере насосной станции

- русловая компоновка, когда перфорированные трубы ПБК располагают у входа в ковшевой водозабор.

Также предложены компоновочные схемы расположения рабочей части ПБК для береговых водозаборов –atinaсосная компоновка и русловых – прирусловая.

Натуральные исследования течений, создаваемых при работе ПБК на вышеперечисленных объектах показали, что при выходе сжатого воздуха перфорированных труб рыбозащитного комплекса создаются восходящие воздушно-пузырьковые струи. Рыбная молодь, а также мусор, топляк и другие механические включения, захваченные восходящим потоком по пути своего формирования поднимаются на поверхность водоема. При переходе восходящего потока в горизонтальный поток поверхностного растекания они относятся течением в сторону от защищаемой зоны.

Сотрудниками Госрыбнадзора велись ихтиологические исследования за эффективностью рыбозащитных комплексов, используемых на водозаборах, которые выявили высокую эффективность ПБК от 78 до 90% в отношении защиты рыбной молоди от ее гибели и попадания на вращающиеся сетки водозаборов.

Особая сложность использования ПБК для защиты рыбной молоди возникала при незначительных скоростях сносимого потока или их отсутствии. Для этих условий была предложена конструктивная схема ПБК, включающая систему экранирующих струенаправляющих щитов [9,10].

Экранирующие щиты интенсифицировали противотечение от защищаемой зоны. Восходящие водовоздушные струи, достигшие поверхностных слоев водотока, набегали на струенаправляющие щиты, создавая течение, отводящее рыбную молодь и механические включения от зоны водозабора. В этом случае достаточно было создавать перед зоной водоотбора воздушно-пузырьковую завесу со скоростями, превышающими скорости течения, преодолеваемые различными видами рыб, обитаемых в реке [1,2,11].

При разработке подобных рыбозащитных комплексов необходимо располагать данными ихтиологических исследований и общей ихтиологической характеристикой участка реки, прилегающей к водозабору.

Эффект выноса рыбной молоди от опасной зоны наблюдался при создании в активной зоне воздушно-пузырьковых струй течения с вертикальными составляющими скоростей превышающих скорости транзитного потока:

$$V_v \geq 1,25 \div 1,55 U_v, \quad (1)$$

где

V_v – значение вертикальной составляющей скорости на траектории воздушно-пузырьковой струи на расстоянии $z=0,65H$ от плоскости истечения воздуха из перфорированных отверстий, м/с;

H – глубина погружения перфорированных труб, м;

U_v — средняя скорость течения по вертикали, действующего на водозаборную струю [4,8,10].

Список литературы

1. Павлов П.С., Пахоруков А.М. Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения// Легкая промышленность, М., 1983, с.186
2. Образовский А.С., Ереснов Н.В., Ереснов В.Н., Казанский М.А. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников. М., Стройиздат, 1976, с.378
3. Пособие по проектированию сооружений для забора поверхностных вод к гл. СНиП 2.04.02-84 Строительные нормы и правила Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Нормы проектирования. – М., 1986.
4. Колесникова Т.В. Использование пневмозащиты при защите водоприемного оголовка от ледошуговых осложнений. Водоснабжение и санитарная техника, М., 1988, №1, с.10-12
5. А.с. № 10860634 Е 02В15/02 бюл. № 14 1984. Шугозащитное устройство водозабора / Войнич-Сяноженцкий Т.Г., Колесникова Т.В., Филиппов Э.Я., Мотинов А.М.
6. А.с. № 1105549 Е 02В9/04 бюл. № 28, 1984. Водозаборное сооружение / Алексеев В.С., Колесникова Т.В.
7. А.с. № 1618018 Речное бесплотинное водозаборное сооружение / Войнич-Сяноженцкий Т.Г., Колесникова Т.В., Филиппов Э.Я. / Е02В8/02 бюл. № 32, 1990.
8. Колесникова Т.В. Гидравлика пневмобарьерных комплексов бесплотинных водозаборов насосных станций на равнинных реках. – Владикавказ, 1998, с.193
9. А.с. № 1096337 Е 02В8/08 Бюл. № 21 1984. Рыбозащитное устройство водозаборного сооружения / Войнич-Сяноженцкий Т.Г., Колесникова Т.В., Мотинов А.М., Цыбочкин В.Т., Эрслер В.Л
10. Колесникова Т.В., Мотинов А.М., Пахоруков А.Н. Рыбозащитное пневматическое устройство, оборудованное струенаправляющей системой на водозаборе ТЭЦ // Тематический сборник ВНИИГ им. В.Е. Веденеева.- Л., 1984, с.30-34
11. Недрига В.П. Гидротехнические сооружения: справочник. М., Стройиздат, 1983, с.678.

05.23.03

А.Б. Корняков, А.К. Ключко

ФГБОУ ВПО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ" ("МГСУ"), Кафедра «Теплотехника и теплогазоснабжение» (ТТГС),
Москва, klo4ko_aleksey@mail.ru

УМЕНЬШЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ В КОТЕЛЬНЫХ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГАЗОВОЗДУХОПРОВОДОВ

В работе произведен анализ расчетных аэродинамических сопротивлений котельной установки. Предложен ряд мероприятий по реконструкции газовоздушного тракта котельных.

Ключевые слова: котельные установки, аэродинамический расчет газового и воздушного тракта, газовоздухопроводы.

В настоящее время в Российской Федерации существует значительное количество отопительных и производственно-отопительных с паровыми водогрейными котлами, которые находятся в эксплуатации более 30 лет.

Конструктивные и проектные решения газовоздухопроводов таких котельных явно подверглись «моральному старению», а материалы их сооружений подверглись значительному физическому износу.

При проектировании котельных были использованы типовые решения в соответствии с рекомендациями СНиП II – 35 – 76 [1]. Такая практика позволяла уменьшить продолжительность работ на стадии проектирования, но вела к тиражированию во многих случаях ошибочных решений, что приводило к увеличению аэродинамического сопротивления газовоздухопроводов и, следовательно к необоснованному увеличению расхода электроэнергии на привод дутьевых вентиляторов и дымососов.

Обновление и модернизация газовоздушного тракта котельных не вызывает особых организационных и технических проблем, так как вспомогательное оборудование для рассматриваемых котельных до сих пор выпускается котлостроительными заводами страны.

Представляется целесообразным перед составлением проектов реконструкции в каждом отдельном случае произвести подробное и квалифицированное обследование состояния газовоздушного тракта на соответствие современным технологическим решениям и достигнутому экономическим и экологическим показателем об эксплуатации. При этом следует избегать метода «аналогий» при принятии решений по технологическим схемам и компоновкам оборудования, как основополагающего.

Разработку проектов реконструкции газовоздухопроводов и модернизации оборудования необходимо выполнять после проведения специальных расчетов в соответствии с требованиями и рекомендациями [2]. Третье издание аэродинамического расчета котельных установок (нормативный период), по замыслу его авторов, было направлено, в основном, для совершенствования оборудования котельных электростанций, но оно может быть использовано также при проектировании отопительных и производственных котельных.

Далее в качестве конкретного примера приводится таблица расчетных аэродинамических сопротивлений воздушного и газового тракта котельной типового проекта с котлами ДКВР – 10, работающих на газе и мазуте, при этом использовались данные, приведенные в [3].

Расчетная мощность, потребляемая электродвигателя дутьевого вентилятора и дымососа с КПД 70% составляет около 10 кВт, на один котел.

Из таблицы 1 видно, что порядка 40% суммарного аэродинамического сопротивления котельной установки приходится на каналы газовоздушного тракта и могут быть

реконструированы с ощутимым эффектом от уменьшения их аэродинамического сопротивления, следовательно и энергозатрат.

Таблица расчетных аэродинамических сопротивлений.

Таблица 1.

№ п/п	Наименование	Размерность	Величина	Доля от суммы, %
1	Всасывающий воздухопровод до дутьевого вентилятора	кПа	0,1	10,5
2	Напорный воздухопровод дутьевой вентилятор-горелка	кПа	0,25	26,5
3	Горелка ГМГ	кПа	0,6	63,0
4	Суммарное аэродинамическое сопротивление воздушного тракта	кПа	0,95	-
5	Котел ДКВР – 10	кПа	0,35	30,0
6	Газоход котел-водяной экономайзер	кПа	0,08	7,0
7	Водяной экономайзер ЭП-230	кПа	0,3	25,0
8	Газоход водяной экономайзер-дымосос	кПа	0,05	4,2
9	Газоход дымосос – коллектор	кПа	0,25	21,2
10	Коллекторный газоход – дымовая труба	кПа	0,15	12,6
11	Суммарное аэродинамическое сопротивление тракта	кПа	1,18	-

Аэродинамическое сопротивление принято рассчитывать отдельно для воздушного и газового тракта котельной установки по следующей формуле в соответствии с рекомендациями [2]:

$$\Delta H = \sum_i \left(\frac{\lambda}{d_3} L h_d \right)_i + \sum_j (\zeta h_{dm})_j \quad (1)$$

где:

ΔH - суммарное сопротивление воздушного или газового тракта, кПа;

λ – коэффициент сопротивления трения на выделенном участке (усреднённый);

L – развёрнутая длина выделенного участка, м;

d_3 - эквивалентный диаметр выделенного участка (усреднённый), м;

h_d - динамический напор воздуха или газов на выделенном участке по усреднённой скорости и плотности, кПа;

ζ - коэффициент местного сопротивления определённого конструктивного элемента;

h_{dm} – динамический напор воздуха или газов по максимальной скорости для данного местного сопротивления, кПа;

i – количество выделенных участков воздушного или газового тракта;

j – количество местных сопротивлений.

К основным эффективным мероприятиям при реконструкции газозабоудного тракта котельной возможно отнести следующие:

1. Замена подземных кирпичных каналов на надземные стальные с увеличением проходного сечения. При этом λ уменьшается с 2,5 раза, а h_d уменьшается в 2 раза при увеличении периметра прямоугольного сечения канала на 25%.

2. Установка всасывающих карманов с выходными конфузорами перед дутьевыми вентиляторами и дымососами. Уменьшение ζ в 1,5 раза.

3. Установка удлинённых (более 2,0 м) двухступенчатых выравнивающих диффузоров после дутьевых вентиляторов и дымососов. Уменьшение ζ в 2 раза.

4. Применение поворотных участков в прямоугольных каналах в исполнении «колeно» вместо исполнения «отвод». Уменьшение ζ в 2 раза.

Не допустимо применение поворотов каналов и установка тройников без закругления кромок, а так же изменение сечения канала без применения диффузоров и конфузоров.

Выбор величины скорости движения воздуха и газов является обычной оптимизационной задачей по эксплуатационным и капитальным затратам, но в качестве рекомендуемой предлагается скорость до 6,0 м/с.

Физической основой приведённых выше положений является стремление не допускать наличие застойных зон и вихревых потоков, стимулирующих диссипативные явления.

Корректная оценка эффективности повышения к.п.д. нетто котельной представляет известную сложность, но сложившийся опыт и устойчивые тенденции развития котельной техники позволяют утверждать, что реконструкция газовоздушного тракта вполне рациональна.

Список литературы

1. СНиП II-35-76. Котельные установки (с изменением №1) Госстрой России. М.: ГУП ЦПП. 2004.
2. Аэродинамический расчёт котельных установок (нормативный метод). Изд. 3-е. Л., «Энергия», 1997.
3. Роддатис К.Ф., Полтарецкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности. М.: Энергоатомиздат, 1989.

05.13.05

Т.А. Кузнецова к.т.н., В.Г. Августинovich д.т.н., А.П. Якушев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С БОРТОВЫМИ МАТЕМАТИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ

На основе данных наземных испытаний проведен статистический анализ характеристик информационных процессов в САУ авиационного двигателя, доказана их эргодичность и нормальность распределения шумов в каналах измерения. Полученные результаты подтверждают эффективность использования алгоритмов Калман-фильтрации при разработке робастных бортовых математических моделей ГТД.

Ключевые слова: бортовая математическая модель ГТД, статистические характеристики информационных процессов, эргодичность, Фильтр Калмана.

Повышение надежности систем управления авиационных двигателей является одной из наиболее важных проблем современного авиадвигателестроения. Совершенствование методов ее решения строится на основе разработки робастных бортовых математических моделей двигателя (БММ ГТД), работающих в реальном времени и учитывающих сложность, нелинейность и интерционность объекта управления, уравнения движения которого определяются как регулярной составляющей нестационарного процесса изменения его параметров так и случайным разбросом характеристик, вызванным внешними и внутренними помехами [1]. В этой связи надежность систем автоматического управления (САУ ГТД) во многом определяется способностью быстрой адаптации БММ ГТД к изменению характеристик объекта и внешних условий во всем диапазоне режимов работы двигателя. Таким образом, эффективность формирования структуры модели зависит от адекватной оценки реальных характеристик информационной среды. Решение вопросов адаптации строится на применении высокоточных методов идентификации состояния объекта управления и диагностики отказов, предполагающих применение алгоритмов оптимальной фильтрации, предъявляющих определенные требования к характеристикам информационных процессов в САУ ГТД [2]. В этой связи актуальной задачей является анализ статистических характеристик сигналов первичных преобразователей, используемых в системах управления двигателями.

В настоящем исследовании рассмотрено решение поставленной задачи в рамках разработки робастной бортовой математической модели двигателя ПД-14 в составе регулятора РЭД-14. Для повышения надежности входной и выходной информации произведена разработка алгоритмов оптимальной Калман-фильтрации сигналов на входе и выходе БММ ГТД.

Основными вопросами возможности применения алгоритмов оптимальной Калман-фильтрации является эргодичность случайных процессов в САУ и нормальность распределения шумов в каналах измерения.

Известно, что функции распределения случайного процесса имеют статистический смысл. Это относительные частоты в ансамбле одинаковых систем (измерений), т.е. систем, в каждой из которых воспроизведены одни и те же условия протекания данного случайного процесса и одни и те же способы его регистрации (наблюдения). Ансамбль систем предполагает наличие обширного набора реализаций рассматриваемой случайной функции, позволяющего определять ее вероятностные характеристики [3].

Поставленная задача статистического исследования информационной среды САУ авиационного двигателя (ГТД) решалась с применением натурного эксперимента при испытаниях двигателя ПД-14 на специализированном стенде, в условиях которого сложность

объектов исследования и инструментальные ограничения испытательного оборудования не позволяют производить большое количество экспериментов. За определенный промежуток времени $(0, \tau)$ на практике возможно получить лишь одну реализацию исследуемого случайного процесса $x(t)$ и, поэтому, традиционные методы исследования, по ансамблю реализаций, неприменимы. Однако исследование свойств эргодичности возможно проводить как по множеству реализаций, так и по времени, имея одну реализацию при условии что время τ достаточно велико. При этом закон распределения случайных величин в процессе $x(t)$ может быть один и тем же, как по сечению для ансамбля реализаций, так и по координате развития

Для эргодических процессов математическое ожидание равно постоянной составляющей любой его реализации, а дисперсия является мощностью его флуктуационной составляющей.

Достаточным условием эргодичности случайного процесса является условие Слущкого, при котором функции автоковариации [4]:

$$K(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-\tau} [(x(t) - m) \cdot (x(t+\tau) - m)] \quad (1)$$

стремится к нулю при неограниченном росте временного сдвига.

В связи с тем, что датчики в составе САУ авиационного двигателя функционируют в условиях различного рода внешних и внутренних помех, регистрируемые ими информационные сигналы можно считать случайными процессами. Исследование характеристик информационных сигналов нельзя выполнить по ансамблю реализаций, т.к. при множестве испытаний невозможно воспроизвести идентичные условия работы двигателя. Однако если данные процессы эргодические можно воспользоваться одной реализацией, взяв данные продолжительной работы двигателя на статическом режиме. В связи с этим необходимо доказать эргодичность информационных сигналов, используемых в САУ ГТД.

Следует отметить, что фильтры Калмана применяются для эргодических процессов, происходящих в условиях помех с известной дисперсией, не зависящей от времени. В данной работе эргодичность процессов исследовалась по четырем идентифицируемым параметрам – частоты вращения ротора турбины высокого давления $N_{ВД}$, частоты вращения ротора турбины низкого давления $N_{НД}$, температуре за турбиной T_T , давлению за компрессором P_K .

Для анализа эргодичности исследуемых процессов была рассмотрена выборка из 973-х значений по каждому параметру, измеренных во время натурных испытаний двигателя ПД-14 на статическом режиме $N_{ВД}=12800$ об/мин. Для доказательства эргодичности процесса была проверена выполнимость условия Слущкого.

Результаты анализа для T_T и P_K представлены на рисунках 1-2.

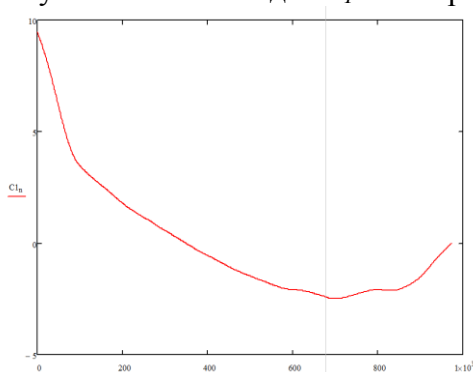


Рис. 1. Функция автоковариации T_T

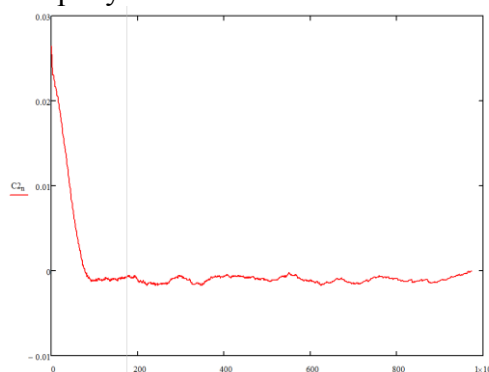
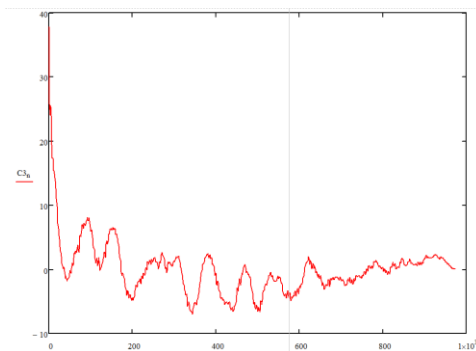
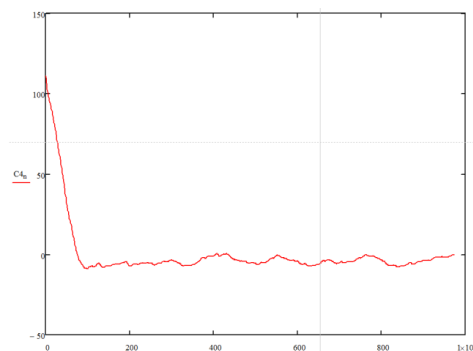


Рис. 2. Функция автоковариации P_K

Результаты анализа для $N_{ВД}$ и $N_{НД}$ представлены на рисунках 3-4.

Рис. 3. Функция автоковариации N_{BD} Рис. 4. Функция автоковариации N_{HD}

Результаты исследований показали, что при увеличении временного сдвига автоковариационные функции процессов стремятся к нулю, что свидетельствует об эргодичности исследуемых процессов.

Небольшие отклонения параметра T_T связаны с особенностями работы двигателя в исследуемом режиме (непостоянство показаний датчиков обусловленное процессом остывания турбины при длительной работе двигателя на статическом режиме, приводит к неидеальности автоковариационной функции), и их можно считать допустимыми.

Также в рамках исследования эргодичности информационных процессов САУ ГТД были определены математические ожидания процессов при увеличении временного сдвига τ .

Анализ показал, что математическое ожидание рассматриваемых случайных функций при увеличении τ (временного лага) оказалось величиной относительно постоянной, разброс значений относительно друг друга составил для $N_{BD} \pm 5$ об/мин, $N_{HD} \pm 10$ об/мин, $T_T \pm 6$ С, $P_K \pm 0,3$ кгс, что можно считать приемлемым для данного исследования. Все это также свидетельствует об эргодичности исследуемых процессов.

Кроме того в ряде работ [5] в качестве ограничений на применение фильтра Калмана приводится необходимость нормальности распределения шумов в каналах измерения и встроенной модели. В связи с чем было проведено исследование нормальности распределения случайных величин, описывающих процессы изменения расхода топлива G_T в каналах дозирующей иглы на основе проверки выдвинутой гипотезы по критерию Пирсона [6]. Полученное в результате статистической обработки данных наземных испытаний по расходу топлива G_T с выборкой $N=95$ значение $\chi^2=4,577296$ удовлетворяет условию:

$$\{\chi_1^2=0,00063\} < \{\chi^2=4,577296\} < \{\chi_2^2=5,412\}, \quad (4)$$

где χ_1^2 и χ_2^2 выбраны для двухсторонней критической области $q_1=q_2=0,02$ из условий $P\{\chi^2 > \chi_{q_1}^2\}=q_1$ и $P\{\chi^2 > \chi_{q_2}^2\}=1-q_2$ соответственно. Из этого следует, что гипотеза о нормальности распределения полученных данных верна.

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет считать рассмотренные процессы эргодическими с нормальным распределением сигналов помех (шумов), что дает право проводить дальнейшие исследования в области разработки робастных бортовых систем с применением алгоритмов оптимальной Калман-фильтрации при решении задач идентификации параметров САУ авиационного двигателя.

Список литературы

1. Simon D.L., Armstrong J.B. An Integrated Approach for Aircraft Engine Performance Estimation and Fault Diagnostics. Proceedings of GT2012 ASME Turbo Expo 2012 (June 11-15, 2012), Copenhagen, Denmark// Paper No: GT-20012-69905. Copyright © 2012 by ASME
2. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Journal of Basic Engineering, 82: p.p.35-45. Copyright © 1960 by ASME
3. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Ч. I. – М.: Наука, 1976 г., 494 с.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2000 г., 462 с.
5. Mirzaee A., Salahshoor K. Fault Tolerant Control of an Industrial Gas Turbine Based on a Hybrid Fuzzy Adaptive Unscented Kalman Filter. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 135(12), 122501 (Sep 20, 2013) Paper No: GTP-12-1496. Copyright © 2013 by ASME
6. Рабинович С.Г. Погрешности измерения. – Л.: Энергия, 1978 г., 262 с.

05.22.08

Д.Н. Куклев, Н.В. Куклева

Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
кафедра «Технология транспортных процессов и логистика»,
Хабаровск, boblok@mail.ru, Kukleva.natalya@bk.ru,

О ПРОДВИЖЕНИИ ТРАНЗИТНЫХ ПОЕЗДОВ ЧЕРЕЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ УЗЛЫ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

В обеспечении возможности роста экономики страны железнодорожный транспорт традиционно играет важнейшую роль. Идя по пути постоянного и непрекращающегося наращивания всех видов пропускной (провозной, перерабатывающей) способности, возникает потребность в поиске новых решений, для чего может быть стоит посмотреть на традиционные вопросы под другим углом зрения. В данной статье поднимается вопрос о возможности рассмотрения важнейшего процесса пропуска транзитных поездов через железнодорожные узлы с точки зрения системного подхода логистики.

Ключевые слова: железнодорожный узел, транзитные поезда, системный подход, обходы узлов.

Введение

Одним из основных итогов от реализации Транспортной стратегии в нашей стране [1] должно стать освоение транзитных перевозок в объеме 100 млн. тонн и более, что выразится в резком повышении, относительно настоящего времени, числа поездов, которые должны пропустить железнодорожные направления, участки, перегоны, станции. Исследования, проводимые, в том числе, учеными Дальневосточного государственного университета путей сообщения, показывают, что станционная инфраструктура (в первую очередь путевое развитие) не готова к освоению таких объемов работы. Это же конечно относится и к железнодорожным узлам, поэтому и возникает потребность в поиске рациональных путей их развития для достижения необходимых уровней пропускной, провозной и перерабатывающей способностей.

Задача является, несомненно, многовариантной, с несколькими линиями решений, поэтому только четкое представление об имеющихся ресурсах, возможностях и предполагаемых результатах может помочь в достижении поставленной цели. При этом должно обеспечиваться выполнение требуемых показателей при минимальных (допускаемых, приемлемых) затратах. Эти вопросы являются краеугольным камнем такой науки как логистика.

Основная часть

Логистический подход к рассмотрению таких сложных элементов как железнодорожный узел должно, по нашему мнению, основываться на так называемом системном подходе.

Как известно, под «системой» понимается нечто цельное, состоящее из отдельных элементов, имеющих определенную структуру и взаимосвязи, дающие вместе максимальный интегративный эффект [2].

Железнодорожный узел, состоит из: станций (входных, выходных, основных), внутриузловых ходов (основного и дублирующего, или только основного – главные пути между головными станциями), головных участков (рис. 1). Набор элементов зависит от многих факторов: количество примыкающих железнодорожных линий; число, тип станций, размещение их относительно друг друга и характер выполняемой ими работы; число внутриузловых ходов и т.д.

транзитные итоге больше – до 50% [4]. Причины этому могут быть самые различные, касающиеся, например, несвоевременности подачи сменных поездных локомотивов, нехватки бригад ПТО (ПКО), наличия враждебных маршрутов в горловинах, уменьшения пропускных способностей внутриузловых ходов в следствие предоставления «окон» для ремонта инфраструктуры, сгущенных периодов пропуска пассажирских и иных поездов, имеющих более высокий приоритет в течение суток и т.д.

Решать данные проблемы можно различными способами, благо в науке и практике имеется обширный набор «инструментов» для этого. Однако в настоящее время идти по пути увеличения пропускной способности посредством наращивания мощности путевого развития узловых станций уже крайне затруднительно. Невозможно до бесконечности «раздувать» станционное хозяйство, загрузка которого уже достигает 80% [3], что делает затруднительным работу, как этих станций, так и смежных железнодорожных участков. Это, в свою очередь, может ставить под угрозу, например, успешный пропуск транзитных поездопотоков, особенно, направляемых на значительные расстояния, через несколько узлов. Выработать нужные пути решения данной проблемы можно основываясь на системном подходе, когда маршрут от пункта отправления такого поезда, до его прибытия, например, в порт, рассматривается как единое целое, с обеспечением наилучшего выполнения показателя при проследовании через попутные узлы – минимума времени нахождения в пределах всего маршрута продвижения, при этом можно будет говорить, что материальный поток становится сквозным.

Заключение

Рассмотренный вопрос является крайне важным, особенно в свете прилагаемых усилий на сети железных дорог по организации постоянного обращения, например, ускоренных контейнерных поездов с Дальнего Востока в направлении западных границ нашей страны или угольных отправительских маршрутов в направлении портов на экспорт. При этом, часто авторы, например, [5], в качестве основных называют проблемы, связанные с работой портов (технология и инфраструктура), таможни и др., как будто само продвижение по маршруту является делом решенным, что, конечно, не соответствует действительности. Вместе с тем, как представляется авторам, транзитные поезда не должны «проталкиваться» любой ценой за счет других типов поездопотока.

В качестве предложения авторы считают целесообразным рассматривать вопрос о строительстве обходов узлов, предназначенных, для пропуска транзитных грузовых поездов (контейнерных, угольных и др. маршрутов), что позволит обеспечивать не только доставку «в срок», но и свободно «вздыхнуть» существующим узловым устройствам, снизив их загрузку до комфортного, рабочего уровня.

Список литературы

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение от 11 июня 2014 года №1032-р [Электронный ресурс]: <http://government.ru>.
2. Гаджинский, А.М. Логистика: учебник / А.М. Гаджинский. – 20-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2012. – 484 с.
3. Серова, Д.С. Совершенствование прогнозирования времени нахождения экспортных грузопотоков на сортировочных станциях / Д.С. Серова, Т.Н. Каликина // Вестник Транспорта Поволжья, №2 (44) – Самара: Изд-во СамГУПС, 2014. – С. 29 – 33.
4. Довиденко, В.В. Подход к функционированию сортировочной станции как к внутрипроизводственной логистической системе // Повышение эффективности перевозок и транспортная логистика : сборник научных трудов / под ред. Д.Н. Куклева. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. – С. 35 – 43.
5. Балалаев, А.С. Преимущества комплексного подхода в сфере контейнерных перевозок (на примере Транссибирской магистрали) / Таможенная политика России на Дальнем Востоке, №1 (54). – Владивосток : Изд-во Владивостокский ф-л государственного казенного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российская таможенная академия», 2011. – С. 47 – 55.

05.23.11

С.А. Куюков к.т.н., Д.А. Гензе к.т.н., А.В. Замятин к.т.н.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
кафедра автомобильных дорог и аэродромов,
Тюмень, kuyukov-sa@mail.ru, ehre2003@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДАРОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В работе анализируются существующие нормы по инженерно-геологическим изысканиям на заболоченных территориях. Отражается малая надежность получаемых результатов. Предлагается расширить применение георадаров для увеличения надежности изысканий, сокращения сроков производства и снижения стоимости работ.

Ключевые слова: *георадар, инженерно-геологические изыскания, радарограмма, болото.*

Территория Западной Сибири занимает огромную площадь и представлена сложными грунтово-геологическими условиями (переувлажненные грунты, вечная и островная мерзлота, заболоченные и засоленные грунты и т.д.). Все особенности учитывать необходимо при строительстве инженерных сооружений. Проектирование площадных объектов предусматривает проведение инженерно-геологических изысканий на относительно небольшой площади. При этом, достоверность результатов не вызывает сомнений, так как крайне редко небольшая территория имеет существенные различия в геологическом строении. Достаточная и достоверная информация результатов изысканий позволяет специалисту-проектировщику качественно запроектировать ту или иную конструкцию, с высокой степенью надежности. При проектировании линейных сооружений (автомобильных, железных дорог) возникает много сложностей, связанных, прежде всего, с достоверностью полученных данных по результатам инженерно-геологических изысканий. Обвинять изыскателей, которые не предоставили полную информацию о геологических особенностях района проектирования не корректно, так как все работы выполнены по действующим нормативным документам, которые морально устарели и потеряли актуальность. Особенно этот недостаток проявляется при изысканиях и проектировании объектов на заболоченных территориях. На сегодняшний день изыскания для проектирования линейных объектов на заболоченных территориях проводятся согласно нормативным документам [1,2]. Эти документы регламентируют все этапы изысканий, виды работ, проводимые при изысканиях, полевые и лабораторные исследования грунтов, а также приводят необходимые объемы по каждому виду работ. Основная информация, необходимая для проектирования объектов, предоставляется по результатам исследования физико-механических характеристик грунтов, изъятых из пробуренных скважин.

По характеристикам грунта отдельной скважины, невозможно предположить характеристики грунта, находящегося между соседними скважинами. Проектировщики вынуждены проектировать объекты по скважинам, находящимся на расстоянии 1 км и более. Естественно, конструкции, запроектированные по таким исходным данным, имеют малую надежность.

Но даже высококвалифицированное качественное выполнение работ не является надежным «фундаментом» для дальнейшего проектирования. Связано это с тем, что расстояния между соседними скважинами согласно различным документам нормируются различными величинами.

Расстояние между скважинами по оси трассы должно быть 25 - 50 м в зависимости от особенностей строения слабой толщи. Через 200 м на поперечниках следует проходить по 5 -

7 скважин, между этими основными поперечниками устраиваются промежуточные и на них допустимо проходить по 3 скважины [1].

Согласно Свода правил [2] расстояние между скважинами должно составлять от 25 до 2000 м.

Стоимость бурения одной скважины глубиной до 15 м в зависимости от категории породы составляет от 297 до 3608 руб. в ценах 2001 г. [3].

Количество скважин и стоимость инженерных изысканий на 1 км по различным методикам представлена в таблице.

Таблица – Анализ методик инженерно-геологических изысканий

Нормативный документ	Количество скважин на 1 км	Расстояние между скважинами	Стоимость инженерных изысканий за 1 км
Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах	20-40 шт. в продольном направлении и 40 шт. в поперечном Итого 60-80 шт.	25 - 50 м	288640 руб.
СП 11-105-97	40 шт.	25 - 2000 м	144320 руб.

С момента издания последнего нормативного документа, регламентирующего изыскания на заболоченных территориях, прошло более 20 лет. За этот период появились новые приборы и оборудование, позволяющее проводить изыскания с меньшими трудозатратами, в более короткие сроки без ущерба достоверности получаемых результатов. К такому оборудованию можно отнести георадар. Кафедра автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ» уже более 10 лет занимается внедрением георадиолокационного зондирования в дорожной отрасли, в том числе и при инженерно-геологических изысканиях на заболоченных территориях [4,5].

При использовании подповерхностного зондирования прибор позволяет осуществлять съемку с различным шагом, который назначается в зависимости от поставленной задачи, быстродействия аппаратуры, длины записываемого профиля, типа и скорости движения транспортного средства, а также требуемой глубины измерений. При длине профиля до 50 метров и малой скорости съемки, шаг между реализациями следует назначать от 0,1 до 0,2 метров. При длине профиля 500-1000 метров и высокой скорости движения, шаг между реализациями следует назначать от 0,3 до 2,5 метра. При глубине зондирования до 1,5 метров, шаг между реализациями должен составлять 0,05-0,20 метра, а при глубине более 20 метров – 0,5-2,5 метра [6].

Тем не менее, для получения надежных данных и обеспечения минимальной погрешности определения глубины заложения и толщины слоев (до 2%), необходимо сделать не менее 2-5 контрольных скважин на 1 км дороги (в зависимости от грунтово-геологических условий и степени однородности обследуемого участка). При погрешности до 5 % достаточно 1-2 скважины на 1 км, при погрешности до 10 % не менее 1-2 скважин на 3-5 км [6].

Еще одним преимуществом георадарного зондирования является возможность определять места бурения для получения более полных данных. При выявлении однородных данных по длине профиля есть возможность обоснованно сократить количество скважин, тем самым сократить время производства инженерных изысканий и снизить стоимость работ.

При стандартных методиках бурение скважин назначают через определенное расстояние друг от друга. В некоторых случаях, по внешним признакам производят выделение участков, на которых возможно изменение грунтовых условий и в данных местах производят дополнительное бурение через определенные расстояния.

Георадарное профилирование позволяет получать первичные данные в реальном времени

во время съемки и на этом этапе или после обработки полученных результатов назначать места бурения. На примере радарограммы (рис.1) видно, что на небольшом обследуемом участке протяженностью 320 м глубина болота изменяется от 2 до 5 м. При этом рельеф дна болота резко и неоднократно изменяется. В случае применения только бурения есть вероятность, что будет получена не достоверная информация об обследуемом участке, так как скважины устроенные через фиксированные расстояния не попадают во все характерные места.

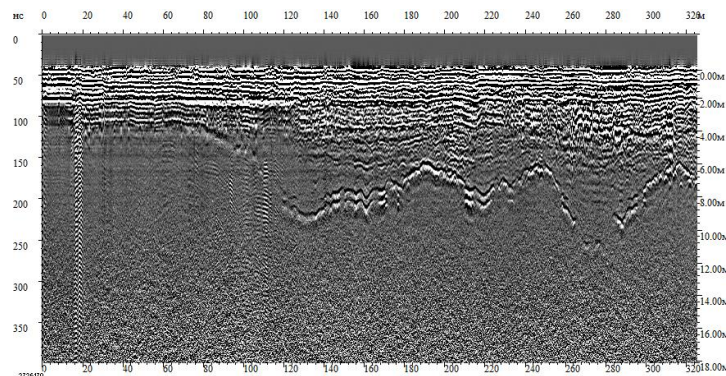


Рис. 1– Радарограмма участка болота

Даже в случае относительно постоянной границы дна болота на значительном протяжении, встречаются места с резкими перепадами глубин на небольшом участке. На рис.2 показаны два участка, на которых имеются резкое изменение рельефа дна болота: рис.2 (а), глубина изменяется в 2 раза, на рис.2 (б) – в 4 раза.

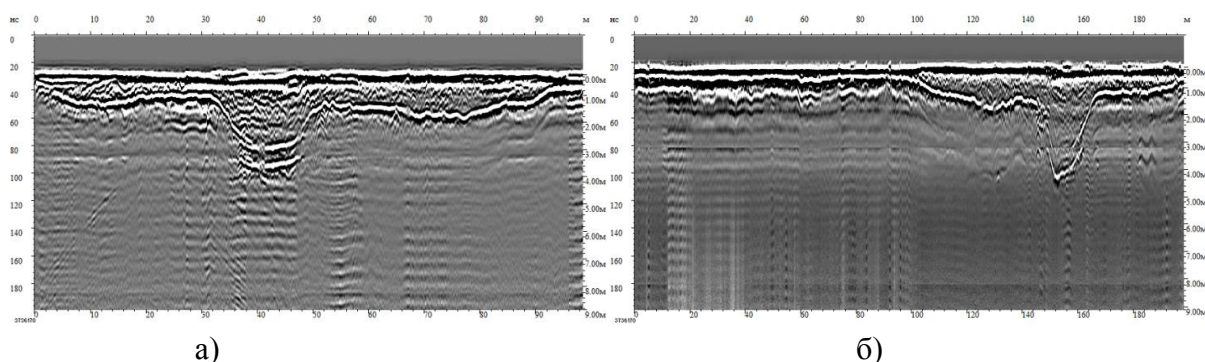


Рис. 2– Радарограммы участков болот

Таким образом, применение георадарного зондирования позволяет получать более надежные данные при изысканиях участков на слабых грунтах при сокращении времени на полевые изыскания и возможности сокращения количества необходимых скважин. При минимальной погрешности, необходимое количество скважин с применением георадаров значительно меньше, чем указано в действующих нормах.

Стоимость георадиолокационного зондирования составляет от 11 до 25 рублей за 1 п.м в ценах 2001 г. в зависимости от глубины исследования и категории грунта [3]. Таким образом, стоимость обследования 1 км с применением георадаров при минимальной погрешности с максимальным количеством скважин составит 43040 рублей при проходе по одному створу и 129120 рублей при проходе по 3-м створам.

Таким образом, более широкое применение георадарного зондирования позволит сократить трудоемкость и сроки производства инженерно-геологических изысканий, а также повысить надежность получаемых данных при снижении стоимости на 15-40%.

Список литературы

1. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. Росавтодор. М.2003- 195 с.
2. СП 11-105-97 Свод правил по инженерным изысканиям для строительства часть I. Общие правила производства работ инженерно-геологические изыскания для строительства. Госстстрой. М.1998 - 43 с.
3. Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства. Инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания. Госстрой России. М.2006- 130 с.
4. Санников С.П., Куюков С.А., Маслов Д.В. Анализ причин разрушения автомобильных дорог на заболоченных территориях тюменской области (на примере Уватского района)/Санников С.П., Куюков С.А., Маслов Д.В. // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 1. С. 146-149.
5. Гензе Д.А. Зависимость диэлектрической проницаемости грунтов от их влажности/Гензе Д.А.//Научно-технический вестник Поволжья. -2011. -№ 2. -С. 74-77.
6. Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. Росавтодор. М.2003- 37 с.

05.14.03

М.Р. Лапшин, С.Т. Лескин, А.О. Скоморохов

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
кафедра оборудования и эксплуатации ядерных энергетических установок,
Обнинск, lapshinmr@gmail.com

СТРУКТУРИРОВАННОЕ ХРАНЕНИЕ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММ СВЯЗИ

Сложно структурированные эксплуатационные данные можно представить с помощью диаграмм связи (ДС). ДС позволяют визуализировать структуру, что упрощает процесс подготовки, обработки и анализа данных. В статье демонстрируется применение ДС на примере подготовки данных оперативно технологического контроля для последующего анализа состояния ГЦН АЭС с реакторной установкой ВВЭР-1000 КЛН АЭС.

Ключевые слова: *структура данных оперативного контроля, диаграмма связей, подготовка, анализ данных.*

Структура данных

Эксплуатация оборудования атомной электростанции (АЭС) подразумевает контроль множества технологических параметров. Данные предоставляются в онлайн режиме, а также архивируются на серверах.

Для эксплуатации необходимо слежение за значениями параметров в каждый момент времени и сравнение их с установленными пределами (уставками) [1]. Для определения причины выхода параметра за уставку или проведения исследовательских работ, существует возможность получить из архива необходимый дамп (временной срез) из базы данных с перечнем сигналов. В таблице на примере главных циркуляционных насосов (ГЦН) 3 блока Калининской АЭС схематично представлен временной срез в виде текстового файла.

Таблица – Исходные данные

Название	дата-время	значени е	служ.парам.
ГЦН1_температура1	2011-01-01 00:00:00	285.023	...
ГЦН1_давление1	2011-02-08 00:13:21	161.562	...
ГЦН3_температура7	2011-03-11 01:01:01	NULL	...
ГЦН2_давление3	2012-02-01 14:07:02	65.4822	...
ГЦН4_температура8	2012-07-11 22:39:41	34.4822	...

Таблица содержит большое количество столбцов, включая служебные параметры (характеристики качества сигнала и пр.). Исследуемый дамп равен 2.5 годам работы оборудования, и 38.5 млн. измерений (строк в файле), и 6.2 Гб информации. В представленном файле каждый ГЦН имеет 48 различных измеряемых параметров (температура, давление, вибрация и т.д.). В такой ситуации оценка структуры информации о состоянии объекта и ее представление эксплуатационному персоналу затруднительна.

Для облегчения анализа файл данных был разрезан на отдельные части, каждая из которых содержит измерения только с одного датчика, и рассортирован по каталогам. Способ подготовки данных, представленных таким образом, рассматривается в работе [2].

Дополнительную сложность создают сигналы, идущие от разных диагностических систем, но представляющие один и тот же параметр, т.е. дублирование сигнала или переключение измерения параметра с одной системы на другую. В таком случае для последующего анализа

необходимо оставить один из дублируемых сигналов или объединить два сигнала в один непрерывный.

Рассортированные по каталогам сигналы не позволяют оценить структуру измерительной системы. Кроме работы с данными, анализ должен включать в себя работу с инструкциями, описанием оборудования, схемами и другой документацией. На наш взгляд, в подобных условиях более перспективным является представление данных ДС.

Диаграммы связей

ДС принято связывать с именем Тони Бьюзена, разработавшим данную концепцию в 70-х годах. В его исследованиях [3] показывается, что линейная символьная информация в виде текстов, таблиц и списков трудно воспринимается человеческим мозгом. Информация, которая основана на ассоциативном и иерархическом мышлении, визуализирована, дополнена цветом и изображениями, воспринимается гораздо легче.

ДС - это граф, каждая вершина которого содержит отдельную мысль или понятие, а ребро, соединяющее две вершины, обозначает связь между понятиями. ДС широко применяются в различных областях деятельности, таких как: обучение, разработка проектов, создание презентаций, составление списков заданий, конспектирование лекций и т.п.

Существует много программ для создания ДС, но наибольшее распространение получили XMind, MindJet Mindmanager и FreeMind. В данной статье используется программа Freemind, поскольку она свободно распространяемая, имеет открытый код и поддерживается различными операционными системами (ОС). Далее речь пойдет об ОС Linux.

Структура директорий в виде дерева

Подготовка данных по 1, 2 и 3 блокам КлнАЭС из исходных файлов для дальнейшего проведения анализа [2] привела к следующей структуре каталогов и файлов, которая с помощью утилиты командной строки *tree* представляется более наглядной.

На рис.1 большая часть каталогов и файлов опущена. Видно, что существует вложенность при описании объекта АЭС. Структура АЭС представляется блоками – схемами – оборудованием – сигналами - типами измерений (температура, давление, вибрация).

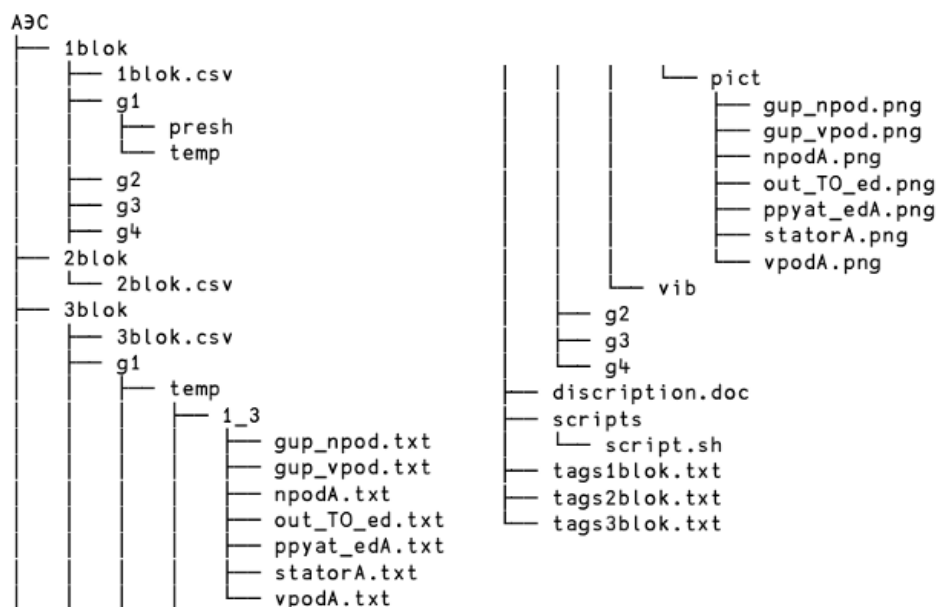


Рис. 1 – Структура каталогов с данными КлнАЭС

Представление данных диаграммами связей

Вложенность можно представить в виде ДС показанной на рисунке 2.

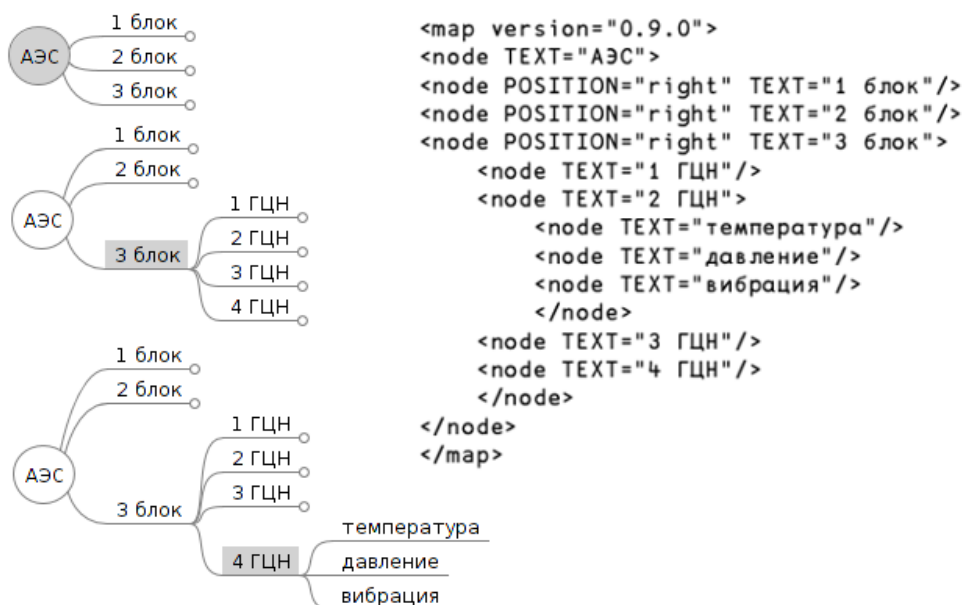


Рис. 2 – Диаграмма связей

На рис.2 демонстрируется возможность FreeMind раскрывать и закрывать узлы в требуемой последовательности. На рис.3 представлена та же структура каталогов и файлов, но в виде ДС. Диаграмма была получена за счет импортирования структуры каталогов с данными. Остальные действия с диаграммой направлены на улучшение ее восприятия и на добавление дополнительной информации.

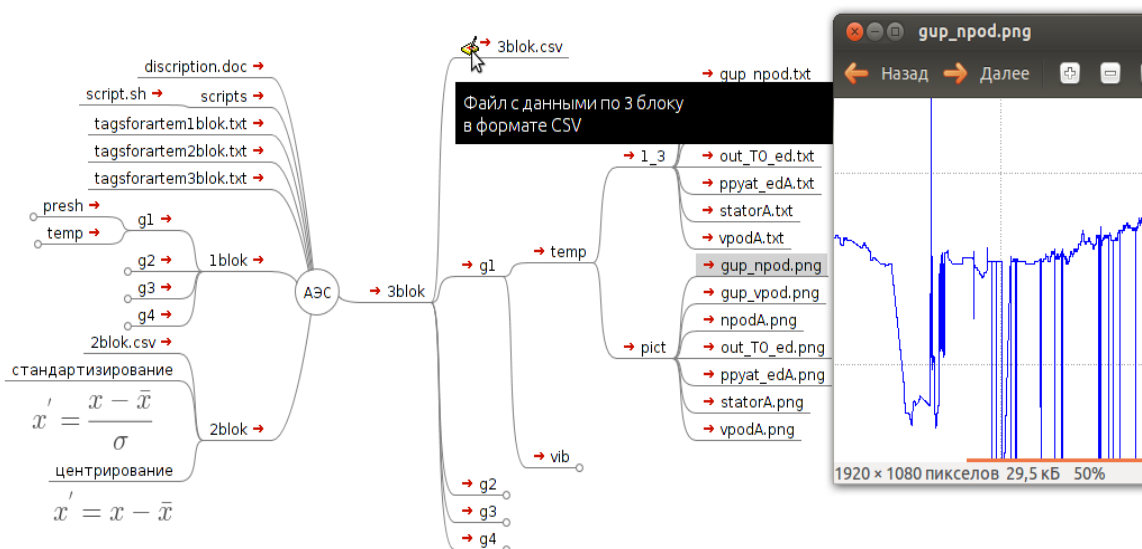


Рис. 3 - Диаграмма связей для данных с КЛНАЭС

Стрелки обозначают интерактивность каждого узла. При нажатии на узел, в зависимости от расширения файла, запускается либо текстовый редактор, либо программа для просмотра изображений, либо каталог. Таким же образом запускаются через ДС сторонние программы, скрипты, другие ДС.

Сравнение структуры представления данных посредством утилиты *tree* и FreeMind выявляет более наглядное представление с помощью ДС, что позволяет работать с базой данных более эффективно, исключает ошибки, которые сложно определить при использовании структуры каталогов.

ДС позволяют вести планирование исследований, фиксировать проделанную работу, сопровождать результаты комментариями. Кроме того, FreeMind позволяет дополнять узлы формулами при помощи аппарата верстки текста LaTeX, как показано на рис.3. А также существует возможность экспорта в форматы: HTML, XHTML, pdf, png, jpeg, svg.

Преимущество открытого кода FreeMind заключается в том, что ДС редактируется не только через саму программу, но и с помощью текстового редактора, что в свою очередь позволяет вносить коррекцию в существующую ДС или создавать новую, не прибегая к самой программе. Таким образом, достигается автоматизация процесса создания ДС с помощью скриптов, написанных на языках shell, bash, python. Текстовый вид ДС представлен на рис.2.

Выводы

ДС позволяют представить эксплуатационные данные в компактном наглядном структурированном виде. Она представляет собой интерфейс пользователя, с помощью которого можно легко ориентироваться по всей базе данных, документов, изображений и других файлов. В свою очередь она не обременяет пользователя своим созданием при заранее продуманной системе каталогов, т.к. большая часть ДС представляет собой автоматическое импортирование структуры каталогов с данными.

ДС, составленная на основе данных КЛНАЭС, позволила решить ряд проблем на этапе подготовки данных: исключить лишние параметры с точки зрения последующего анализа данных; выявить дублирующиеся датчики; определить сигналы, принадлежащие к разным диагностическим системам, но при этом представляющий один и тот же параметр; визуализировать структуру данных.

Список литературы

1. Лескин С.Т., Зарюгин Д.Г.. Комплекс программ DINA I для диагностирования главных циркуляционных насосов ВВЭР по данным оперативного технологического контроля // Известия вузов. Ядерная энергетика. - 2001. - №1. - С. 3 -12.
2. Лапшин М.Р., Лескин С.Т., Скоморохов А.О.. Подготовка данных для проведения диагностики состояния ГЦН 3-го блока Калининской АЭС // Тепловые и ядерные энерготехнологии "Энергия-2014": тезисы докл. Конф. (Иваново, 15-17 апр. 2014 г.). – Иваново, 2014. – Т.2, С. 19-23.
3. Бьюзен Т. и Б. Супермышление / Пер. с англ. Е.А. Самсонов; Худ. Обл М.В. Драко. – 2-е изд. – Мн.: ООО «Попурри», 2003. – 304 с.

05.23.01

В.И. Линьков д.т.н.

Московский государственный строительный университет (НИУ ФГБОУ ВПО «МГСУ»),
Linkov-kdip@mail.ru

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ДЛИННОМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Представлены результаты определения временных и нормативных сопротивлений, модуля упругости древесины лиственницы на примере брусьев сечением 120х200 мм длиной 24 м. Проведена оценка изменения физико-механических характеристик древесины лиственницы на разных участках по длине пиломатериала, длина которого в 3-4 раза превышает стандартную длину деревянных брусьев. Даны предложения по методике определения сорта длинномерных пиломатериалов.

Ключевые слова: *конструкционная древесина, чистая древесина, сорт древесины, сортообразующие признаки, коэффициент вариации, модуль упругости, временное и нормативное сопротивления чистой и сортной древесины.*

Конструкционную древесину – круглые лесоматериалы и пиломатериалы, применяемые в строительстве – разделяют по сортам в соответствии с нормами ограничения пороков, на основании которых выполняют визуальную сортировку деревянных элементов. Параметры для визуальной сортировки круглых лесоматериалов и пиломатериалов - брусьев и досок хвойных пород 1-го, 2-го и 3-го сорта представлены соответственно в ГОСТ 9463, ГОСТ 8486. Однако для особо ответственных деревянных конструкций в случае их применения для зданий и сооружений уровня ответственности не ниже 1.6 по ГОСТ Р 54257-2010 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования», кроме визуальной сортировки целесообразным является определение фактических прочностных характеристик – временного, нормативного и расчетного сопротивлений древесины основным видам напряженного состояния. В нормах проектирования деревянных конструкций СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции» и СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80» указаны минимально допустимые значения контролируемых прочностных показателей – нормативных и временных сопротивлений чистой и сортной древесины изгибу, растяжению и сжатию вдоль волокон, при соответствии которым можно полагать, что расчетные сопротивления исследуемой древесины конструктивных элементов будут не ниже расчетных сопротивлений, приведенных в табл. 3 СНиП II-25-80 и СП 64.13330.2011.

Цель настоящей работы – оценить разницу прочностных характеристик древесины по длине ствола на примере брусьев длиной двадцать четыре метра из древесины лиственницы и предложить подход к определению сорта длинномерных цельнодеревянных элементов.

Из проведенных ранее исследований /1/ известно, что в стволе по мере приближения к вершине снижается процентное содержание поздней древесины – от 40% в комлевой и до 20% в вершинной части ствола. В древесине лиственницы предел прочности при растяжении вдоль волокон ранней и поздней древесины отличается не менее чем в 3 раза, при статическом изгибе – в 5 раз /1/. Поэтому ГОСТы, определяющие нормы ограничения пороков и регламентирующие сортировку бревен, брусьев и досок по визуальному признаку, содержат указания на допустимую длину деревянных элементов.

Максимальная длина деревянных элементов – до 6,5 м для бревен и пиломатериалов, применяемых в строительстве – указана не только из условий заготовки и перевозки материала, но из условий обеспечения гарантированной прочности древесины на всей длине деревянного элемента. Древесина, относящаяся к вершинной части ствола, как и относящаяся к комлевой части, должна иметь прочностные показатели не ниже установленных нормами СНиП II-25-80 и СП 64.13330.2011. При этом прочностные

показатели древесины, относящейся к вершинной части, из-за пониженного содержания поздней древесины будут меньше, чем показатели древесины, относящейся к комлевой части ствола. СНиП II-25-80 и СП 64.13330.2011 допускают визуальную оценку прочности брусьев и круглых лесоматериалов. Там же указано, что прочность древесины должна быть не ниже нормативных сопротивлений, приведенных в Приложении 2 и Приложении В соответственно.

Столкнувшись на практике с необходимостью применения в строительных конструкциях брусьев сечением 120x200(h) мм из древесины лиственницы 1-го сорта длиной 24 м, в лаборатории ФГБОУ ВПО «МГСУ» на малых образцах чистой древесины определили плотность, сопротивление изгибу и сжатию вдоль волокон, модуль упругости при изгибе в различных точках по длине деревянных элементов, включая комлевую, вершинную и срединную на расстоянии 8 м от комля части брусьев. Показатели приводили к влажности древесины $W=12\%$. Результаты статистической обработки показателей исследуемых свойств для разных участков по длине бруса представлены в таблице 1, где M – среднее арифметическое значение показателя, S – среднее квадратическое отклонение от среднего арифметического, V – коэффициент вариации, m – средняя ошибка среднего арифметического, p – показатель точности.

Нормативные сопротивления чистой древесины определяли в соответствии с [2] по формуле $R_{н.ч} = R_{вр.ч} * (1 - \eta_n * V)$, где $R_{вр.ч}$ – среднее значение временного сопротивления малых образцов чистой древесины; $\eta_n = 1,65$ – квантиль распределения для обеспеченности по минимуму $R_{д.мин}=0,95$; V – коэффициент вариации. Переход от нормативного сопротивления чистой древесины $R_{н.ч}$ к R_n сортной древесины выполняли с учетом влияния пороков и масштабного фактора. Результаты определения нормативных сопротивлений для чистой древесины и древесины 1-го сорта представлены в таблице 2.

Таблица 1.

**Статистическая обработка результатов испытаний образцов древесины
лиственницы из разных участков по длине брусьев L=24 м**

Участок бруса	Ед. изм.	M	S	V, %	m	p, %	Требуемое значение, /источник/	Выводы
1. Модуль упругости при изгибе								
Вершина	МПа	9987	1412,2	14,1	446,6	4,5	14300 /1/	Меньше на 30 %.
8 м от комля		15511	1032	6,7	390,1	2,5		Больше на 8 %.
Комель		16199	2976	18,4	768,3	4,7		Больше на 13 %.
2. Предел прочности при изгибе								
Вершина	МПа	70	13,5	19,3	4,3	6,1	96 / СНиП II-25-80 /	Меньше на 27 %.
8 м от комля		94,3	10,3	10,9	3,9	4,1		Меньше на 1,8 %
Комель		101,8	8,9	8,8	2,3	2,3		Больше на 6 %.
3. Предел прочности при сжатии вдоль волокон								
Вершина	МПа	48,0	8,3	17,3	2,0	4,1	52,8 / СНиП II-25-80 /	Меньше на 9 %.
8 м от комля		55,4	4,4	7,9	1,2	2,1		Больше на 5 %.
Комель		61,4	5,7	9,2	1,5	2,4		Больше на 16 %.

Таблица 2.

**Временное и нормативное сопротивления древесины лиственницы
из разных участков по длине брусев L=24 м**

Участок бруса	Ед. изм.	R _{вр.ч.}	R _{вр. 1 сорт. факт/треб.}	Выводы	R ⁿ 1 сорт. факт/треб.	R ⁿ ч. факт/треб.	Выводы
1. Изгиб							
Вершина	МПа	70	36,8/50,4	Меньше на 27%	25,1/36	47,7/68,4	Меньше на 30%
8 м от комля	МПа	94,3	49,5/50,4	Меньше на 1,8%	40,7/36	77,3/68,4	Больше на 13%
Комель	МПа	101,8	53,4/50,4	Больше на 6%	45,8/36	87,0/68,4	Больше на 27%
2. Сжатие							
Вершина	МПа	48	36,0/39,6	Меньше на 9%	26,0/30	34,3/39,6	Меньше на 13%
8 м от комля	МПа	55,39	41,5/39,6	Больше на 5%	36,5/30	48,2/39,6	Больше на 22%
Комель	МПа	61,39	46,0/39,6	Больше на 16%	39,4/30	52,1/39,6	Больше на 31%

Из рассмотрения таблиц 1 и 2 следует, что физико-механические характеристики древесины лиственницы из комлевой части брусев по всем исследуемым характеристикам соответствуют требованиям, предъявляемым СНиП II-25-80 и СП 64.13330.2011 к конструкционной древесине.

Те же показатели древесины из срединной части брусев (на расстоянии 8 м от комля) меньше, чем у древесины из комлевой части. Временное сопротивление изгибу древесины из срединной части брусев меньше требуемого на 1,8%. При этом нормативное сопротивление изгибу, за счет малого значения коэффициента вариации ($10,9\% < V_{\text{изгиб}} = 17\% / 2$), больше требуемого на 13%, что удовлетворяет требованиям СНиП II-25-80 и СП 64.13330.2011. Однако если принять в расчетах не фактический коэффициент вариации, как рекомендует только СП 64.13330.2011, но предполагая в допустимых пределах более высокую изменчивость свойств древесины в партии пиломатериалов в целом и принимая максимально допустимый вариационный коэффициент $V_{\text{изгиб}} = 17\% / 2$, то нормативное сопротивление изгибу составит для чистой древесины 67,8 МПа и для древесины 1-го сорта 35,7 МПа, т.е. меньше требуемого на 1%. Данный результат оказывается в пределах погрешности измерений, но показывает, что положительная оценка сопротивления изгибу древесины из срединной части брусев для конструкций высокого уровня ответственности при неформальном подходе требует дополнительного подтверждения. Временное и нормативное сопротивления сжатию древесины из срединной части брусев больше требуемых на 5% и 22% соответственно. Увеличение резерва прочности при переходе от временного к нормативному сопротивлению объясняется малым значением коэффициента вариации – $V_{\text{факт.сжат}} = 7,9\% < V_{\text{сжат}} = 15\%$. Модуль упругости при изгибе больше требуемого на 8%. Следовательно физико-механические характеристики древесины лиственницы из срединной части брусев по всем исследуемым характеристикам соответствуют требованиям, предъявляемым СП 64.13330.2011 к конструкционной древесине, если сопротивление изгибу оценивать по нормативному сопротивлению и при вычислении нормативных сопротивлений принимать фактический коэффициент вариации по результатам эксперимента.

При длине пиломатериала L=24 м физико-механические характеристики древесины лиственницы из вершинной части брусев по всем исследуемым характеристикам не соответствуют требованиям, предъявляемым СНиП II-25-80 и СП 64.13330.2011 к конструкционной древесине. Для вершинной части коэффициент вариации при сжатии вдоль

волокон составил 17%, т.е. больше указанного в /2/ $V_{сжат} = 13-15\%$, при изгибе - $19\% > V_{изгиб} = 15-17\%$, что косвенно говорит о высокой изменчивости свойств древесины в вершинной части ствола. Временное и нормативное сопротивления изгибу чистой и сортной древесины из вершинной части брусьев меньше требуемых значений на 27% и 30% соответственно, сжатия вдоль волокон – на 9% и 13%. Модуль упругости при изгибе меньше требуемого на 30%.

На основании проведенных испытаний и выполненных расчетов сделаны следующие выводы:

1. Оценка прочности и сортности длинномерных пиломатериалов должна проводиться комплексно и включать не только визуальную оценку сортообразующих признаков, но и определение фактической прочности древесины по результатам испытаний образцов.
2. Заготовки для образцов должны отбираться из вершинной части длинномерных деревянных элементов.
3. В каждой выборке количество показателей прочности, которые имеют величину меньше нормативного сопротивления, должно составлять не более 5% от общего количества величин в исследуемой совокупности.
4. Оценка прочности древесины следует проводить только по временным сопротивлениям.

Список литературы

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине: Справочник / Под ред. Б.Н.Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
2. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.

05.23.03

А.А. Малышева

ФБГОУ ВПО Московский государственный строительный университет,
кафедра «Теплотехника и теплогазоснабжение», Москва, mani495@mail.ru

НЕТРАДИЦИОННЫЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ - БИОГАЗ ПОЛИГОНОВ ТБО

В статье рассмотрены вопросы использования биогаза на полигонах ТБО, схемы сбора и отвода газа, использование вертикальных скважин для добычи биогаза, а также этапы инженерного обустройства скважин и способы утилизации биогаза.

Ключевые слова: *утилизация, свалочный газ, биогаз, полигоны ТБО.*

В настоящее время применение биогаза, вырабатываемого при хранении твердых бытовых отходов (ТБО) на полигонах принимает все более актуальность. Исследования показали, что образуется около 190 м³ биогаза из одной тонны ТБО, при этом первые 15-20 лет при разложении одной тонны ТБО выделяется до 7,2 м³ биогаза в год. В дальнейшем интенсивность выделения биогаза резко сокращается.

Основную часть биогаза составляет метан (40-60%), далее диоксид углерода (35-40%), азот (5-15%) и другие в небольших количествах токсичных соединения, он является взрывоопасным и одним из факторов, вызывающих "парниковый эффект", в связи с этим биогаз может быть использован как альтернативное возобновляемое топливо, которое образуется при анаэробном разложении органической составляющей отходов.

Количество биогаза, которое может быть образовано, определяется по выражению:

$$Q = M * q * e^{-kt}$$

где Q - количество биогаза (м³), которое генерировано за время t (годы);

M - масса отходов (т);

k - константа скорости реакции газообразования (1/год);

q - удельный газовый потенциал (м³/т).

Проведенные исследования, которые были произведены в области газообразования показали, что процесс происходит наиболее интенсивно в первые пять лет, за которые выделяется около 50% полного запаса свалочного газа (биогаз, канализационный или болотный газ, газ-метан).

В основном для экстракции свалочного газа используют следующую схему сбора и отвода газа, которая состоит из сетей вертикальных газодренажных скважин, магистральных и промежуточных трубопроводов с арматурой, из устройства по осушке биогаза и его очистке, а также из энергетической и вентиляторной установки. Для утилизации и сбора монтируются установки на специальной подготовительной площадке за пределами свалочного тела.

Скважины предназначены для осуществления дренажа конкретного блока ТБО, которая условно имеет цилиндрическую форму. Сооружение газодренажной системы осуществляется как на отдельных участках полигона, в соответствии с очередностью их загрузки, так и целиком на всей территории полигона ТБО после окончания его эксплуатации.

Вертикальные скважины применяют для добычи газа на полигонах ТБО. Расстояние между газовыми скважинами на участке сбора биогаза обычно составляет от 50 до 60 м. Если число газовых скважин на полигоне оптимально, а откосы полигона уплотнены, то извлечение биогаза составляет до 80% от его образующегося объема. Если же биогаз собирается на так называемых биокартах с однородными отходами (европейские условия), о извлечение биогаза повышается до 90%.

Первоначально в скважину опускается перфорированная пластиковая или стальная труба, заглушенная снизу, снабженная соединением в приустьевой части. После этого в межтрубное

пространство засыпается пористый материал, к примеру это может быть гравий, с уплотнением до глубины 3-4 м от устья скважины. На последних этапах сооружается, так называемый глиняный замок, который служит для предотвращения попадания в скважину атмосферного воздуха.

После того, как будет закончено строительство скважины приступают к установке ее оголовка, представляющего собой металлический цилиндр, снабженный газозапорной арматурой для регулирования дебита скважины к газопроводу.

Если же система сбора газа устанавливается в процессе заполнения свалки, то для дегазации предпочтительно создать сеть горизонтальных коллекторов. Горизонтальные системы для извлечения биогаза могут быть размещены в поверхностных слоях на глубине от двух до четырех метров.

На первой стадии проектирования газопроводов производится их гидравлический расчет разветвленной газовой сети системы сбора и утилизации биогаза на полигоне ТБО, который сводится к определению диаметров труб для каждого участка газопровода на основе подсчета по заданным расходам потерь давления газа. При выборе материала труб для газопроводов рассматривается обычно два варианта, такие как стальные и пластиковые.

Газопровод прокладывается в траншеях, заглубленных с учетом глубины промерзания в зимний период в каждом рассматриваемом случае. При прокладке линий газопровода в целях предотвращения скопления конденсата необходимо предусматривать уклоны, а также установить конденсатоотводчики, обеспечивающие удаление влаги из системы. Их количество определяется геометрией свалочного тела и газосборных коллекторов.

Для обеспечения и регулирования работы газопровода используется запорная арматура из коррозионностойких материалов к биогазу, такие как задвижки, краны, заслонки. При выборе ее следует учитывать условия ее эксплуатации по температуре и давлению газа. Непосредственно в газосборочном пункте для каждого подведенного газосборочного трубопровода устанавливается кран и технологические отводы для измерения потока газа и концентрации входящих в него компонентов.

В случае заполнения полигона до проектной отметки производят его закрытие и выполняют работы его рекультивации. Для этого последний слой отходов перед закрытием полигона засыпают слоем минерального грунта. Если же это полигон ТБО является высоконагружаемым со сроком эксплуатации не менее 5 лет, то допускается превышение проектной отметки на 10%. На момент закрытия полигон представляет собой насыпной холм с заложением откосов $m=3$.

Существует несколько способов утилизации биогаза, образующегося на свалках и полигонах:

- применение биогаза в качестве топлива для газовых двигателей в целях получения электроэнергии тепла;
- для предотвращения и снижения пожароопасных ситуаций на полигонах ТБО, а также для устранения неприятных запахов используют факельное сжигание, при этом в хозяйственных целях энергетический потенциал биогаза не используется;
- для совместного производства тепловой и электрической энергии применяют прямое сжигание биогаза;
- применение биогаза в качестве топлива для паровых и газовых турбин в целях получения электрической и тепловой энергии;
- доведение до 93-95% содержания метана в биогазе с последующим его использованием в газовых сетях общего назначения;
- применения биогаза, в качестве топлива для транспорта.

Выбор того или иного способа утилизации биогаза зависит от конкретных условий хозяйственной деятельности на полигоне ТБО, а также определяется наличием платежеспособности потребителей энергоносителей, полученных на основе использования биогаза.

Список литературы

1. Елистратов В.В., Кубышкин Л.И., Масликов В.И. и др. Обоснование комплексных энергетических технологий на полигонах твердых бытовых отходов// Энергетическая политика. Вып.3,2001.
2. Касимов А.М., Мелашенко А.С. Биогаз полигонов ТБО – важный резерв альтернативных источников энергии// ХНАГХ, 2008.
3. Руководство по биогазу. От получения до использования [Электронный ресурс].Режим доступа.— URL:http://esco-ecosys.narod.ru/2012_9/art272.pdf.

05.23.01

С.В. Марков, Л.И. Шубин, К.С. Андрейцева

Национальный исследовательский университет Московский государственный строительный университет (МГСУ), институт Жилищно-коммунального комплекса,
Москва, IGKK@mgsu.ru

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ БАЛКОНОВ И ИХ ЭВОЛЮЦИЯ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

В статье рассмотрены конструктивные решения балконов с учетом современных теплотехнических требований предъявляемых к ограждающим конструкциям зданий. Устройство перфорационных отверстий в перекрытии, заполненных теплоизоляционным материалом, позволяют уменьшить теплопотери в узле опирания стены на монолитное перекрытие.

Ключевые слова: *балконные плиты, монолитные перекрытия, теплопотери, нормативная база.*

Вопросы научных исследований и расчета элементов строительных конструкций зданий и сооружений, направленные на повышение долговечности, надежности, безопасности и обеспечению их теплотехнических характеристик с современных позиций были изучены в [1-7]. Вместе с тем, современные требования связаны с развитием новых конструктивных систем диктуют необходимость дальнейшего развития исследований в части обеспечения теплотехнических характеристик для жилых и общественных зданий при многоэтажном каркасном монолитном строительстве.

В 2003 г. введен в действие СНиП 23-02-2003 ставящей своей целью повышение требований к тепловой защите зданий и сооружений, а позже был разработан и введен СП 50.13330.2012 тепловая защита зданий, актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 [9]. Благодаря этому СП нормированное сопротивление теплопередаче остается примерно на том же уровне и для наружных стен с расчетной температурой внутреннего воздуха равно

$$R_o^{mp} = 3,13 \frac{m^2 \cdot K}{Bm}.$$

Введение более с технической стороны жестких нормативных требований к ограждающим конструкциям позволяют в настоящее время применять новые технологические решения и современные конструкционные материалы.

Наращивание наружных стен в толщину из традиционных конструктивных несущих элементов, возможно, и было бы попыткой удовлетворить нормам, однако, это экономически невыгодно. В связи с этим решено было использовать менее теплопроводные материалы, такие как пенобетон, пенополистиролбетон, керамзитовые и облегченные кирпичные блоки и т.д.

Теплопроводность зависит от средней плотности материала, его поровой структуры, влажности, температуры физики материала, технологии укладки и твердения. Так, при уменьшении теплопроводности материала, уменьшается его средняя плотность. Сегодня известно, что чем выше

Новым способом строительства жилых и общественных зданий является многоэтажное каркасное монолитное строительство. Основной каркас, его несущие конструкции возводятся из монолитного железобетона. Это позволяет при точном соблюдении всех технологических требований и норм построить очень прочное и крепкое несущее основание. Однако, в таких каркасных зданиях применяются самонесущие стены, не обеспечивающие возможность опирания балконных плит на ограждающие конструкции. В таком случае появляется и новый тип балкона – балкон есть продолжение плиты перекрытия, где нет

опирания на наружные стены. Однако, через такой балкон осуществляется повышенная теплоотдача, что ведет к возрастанию потребления энергии для отопления здания, возникновению конденсата, накоплению влаги и последующим неизбежным появлением плесени и грибка. Для устранения «мостика холода» плиту перекрытия в зоне стыка с наружной стеной перфорируют в размерах 1:1 или 1:3 или 1:5 со вставками утеплителя.

Так, в сталинский период наружные стены обычно были выполнены из щелевого керамического кирпича плотностью 1450 кг/м куб толщиной 50-80см; в хрущевский период – из бетонных панелей или силикатного кирпича плотностью 1500 кг/м куб толщиной около 40 см; в брежневский период наружные стены были несущими трехслойными железобетонными толщиной 30см с пенопластом толщиной 10 см; наружные стены современных типовых домов в основном также трехслойные с большей толщиной утеплителя и оттого становящиеся самонесущими.

И, например, самонесущие стены в жилых зданиях монолитной каркасной постройки выполнены из легких конструкционно-теплоизоляционных материалов таких как газобетон или пенобетон, теплоизоляционного и облицовочного слоев. Отсюда получается, что удельный вес конструкции в сталинский период, к примеру, - 1160 кг, а в монолитных каркасных зданиях – 335 кг. Соответственно, при таких условиях невозможно использовать балкон с опиранием на наружные стены, откуда и появляется новый тип балкона.

Повышение требований к уровню тепловой защиты стен привело к тому, что в современном строительстве возводятся здания преимущественно с трехслойными конструкциями наружных стен. Обладая высокими теплоизоляционными качествами на глади, они имеют значительное количество металлических и бетонных теплопроводных включений, через которые происходит дополнительные тепловые потери, вызывающей понижение температуры на внутренней поверхности ограждения.

В настоящее время в практике строительства широкое распространение получили здания с безригельным каркасом с монолитными междуэтажными перекрытиями, монолитными балконными плитами и трехслойными стенами с эффективным утеплителем.

Монолитные перекрытия с балконами являются мощными «мостиками холода», пересекающими теплоизоляционный контур оболочки здания. Устройство перфорационных отверстий в перекрытии, заполненных теплоизоляционным материалом, позволяют уменьшить тепловые потери в узле опирания стены на монолитное перекрытие. Однако, остаются армированные участки из тяжелого бетона между перфорационными отверстиями, которые выполняют несущую функцию, передавая нагрузку от балкона на перекрытие. Из-за этих бетонных «мостиков холода» теплотехническая однородность стен значительно уменьшается, как и приведенное сопротивление теплопередаче здания.

Список литературы

1. Бондаренко В.М., Римшин В.И., Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций, М., ТИД «Студент», 2014, 539 с.
2. Бондаренко В.М., Римшин В.И., Аванесов М.П., Теория силового сопротивления железобетона, М. РААСН, 1996, 170 с.
3. Курбатов В.Л., Римшин В.И., Практическое пособие инженера - строителя, М., ТИД «Студент», 2012, 650 с.
4. Казачек В.Г., Нечаев Н.В., Нотенко С.Н., Римшин В.И., Обследование и испытание зданий и сооружений, М., ТИД «Студент», 2012, 655 с.
5. Римшин В.И., Кустикова Ю.О., Механика деформирования и разрушения усиленных железобетонных конструкций, Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт, 2007, №3-15 с.53-56.
6. Шубин Л.И., Римшин В.И., Конструктивные решения утепления ограждающих конструкций при капитальном ремонте многоквартирных жилых домов. В сб. VII-ой Международной научно-практической конференции «Градостроительные аспекты устойчивого развития крупных городов», Украина, Харьков, ХНАГХ, 2009, с. 19-23.
7. Бондаренко В.М., Римшин В.И., Усиление железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях, М., МГАКХиС, 2009, с.84
8. Курбатов В.Л., Римшин В.И., Шумилова Е.Ю. Проектирование и капитальное строительство. Из-во БГТУ им. Шухова т.1 с.656, т.2 с.671.
9. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» Госстрой РФ 2004, М.

05.13.15

А.О. Махорин к.т.н., С.Н. Падалко д.т.н., М.Н. Терентьев к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», кафедра «Прикладная информатика»,
mao@gnu.org, snp@inmas.ru, m-te@yandex.ru

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕДУРЫ СМЕНЫ РОЛИ УЗЛОВ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

В статье сформулирована проблема выбора значений параметров процедуры смены роли узлов многошлюзовых беспроводных самоорганизующихся сетей произвольной топологии, применяемых в аэрокосмических системах. С целью проведения дальнейших исследований построена математическая модель названного класса беспроводных сетей. Поставлена задача оптимизации параметров названной процедуры смены роли.

Ключевые слова: многошлюзовая беспроводная самоорганизующаяся сеть, смена роли узла, самоорганизация, математическая модель, оптимизация.

Переменные роли узлов беспроводной самоорганизующейся сети. При решении задач мониторинга таких параметров объектов аэрокосмических систем (АКС), как нагрузки в элементах стартовых комплексов, состояние объектов наземной космической инфраструктуры, психофизиологическое состояние космонавтов на борту космических аппаратов и т.п., измерение необходимых значений может выполняться при помощи датчиков, входящих в состав взаимодействующих по радиоканалу маломощных компьютеров. Эти компьютеры образуют беспроводную самоорганизующуюся сеть (БСС), обеспечивающую доставку полученных результатов измерений некоторому потребителю. Возможности и преимущества использования беспроводных сетей при решении различных задач в АКС показаны в работах [1, 2].

Узлы БСС, оснащенные датчиками, будем называть *измерителями*. Кроме измерителей могут существовать узлы без датчиков. Эти узлы используются для маршрутизации результатов измерений, полученных измерителями. Будем называть такие узлы *маршрутизаторами*. Передача информации из БСС во внешнюю сеть происходит через взаимодействующие с обеими сетями узлы, которые будем называть *шлюзами*. Назначение узла нередко определяется заранее и при развертывании сети в нужную точку пространства помещается соответствующее устройство, запрограммированное необходимым образом.

Однако в отдельных случаях назначение некоторых узлов не может быть определено заранее, например, вследствие перемещения этих узлов вместе с объектом АКС, на котором эти узлы установлены (перемещение мачт стартового комплекса, космонавтов по космическому аппарату и т.п.) с последующим изменением топологии сети. В таких случаях узлы должны уметь играть любую роль в системе мониторинга: измерителей, маршрутизаторов, шлюзов. На аппаратном уровне это означает необходимость оснащения таких узлов достаточным комплектом датчиков, чтобы такие узлы могли играть роль измерителей, и интерфейсом, обеспечивающим взаимодействие с внешней сетью, чтобы такие узлы могли играть роль шлюзов¹. Программное обеспечение таких узлов должно не только обеспечить выполнение их функций соответственно текущей роли, но и предусмотреть процедуру смены роли.

От качества работы этой процедуры зависит, в том числе, надежность работы системы

¹Заметим, что наличие нескольких шлюзов в сетях с подвижными узлами повышает надежность доставки результатов измерений.

мониторинга. Проиллюстрируем сказанное следующим примером. Названная процедура должна давать ответ на вопрос: когда узел должен принять на себя обязанности шлюза? Узел может сделать это сразу, как только примет хотя бы одно сообщение по внешнему интерфейсу IEEE 802.15.1 или IEEE 802.11, но этим он может ввести в заблуждение соседние узлы, которые будут считать, что он установил надежное соединение с внешней сетью, а это может оказаться не так.

Таким образом, нам требуется определить состав и оптимальные значения параметров процедуры смены роли узла. С этой целью перечислим принципы функционирования узлов такой БСС.

Принципы функционирования узлов. Рассмотренный выше класс многошлюзовых беспроводных самоорганизующихся сетей произвольной топологии является подклассом известного класса беспроводных самоорганизующихся сетей и обладает следующими особенностями:

- все узлы подвижны, законы их перемещения нам не известны,
- роли узлов (измеритель, маршрутизатор, шлюз) могут изменяться с течением времени,
- собранная измерителями информация доставляется внешнему потребителю с использованием (в общем случае) нескольких альтернативных маршрутов передачи сообщений, проходящих через один из шлюзов,
- на топологию сети не накладываются никакие ограничения, т.е. допускается топология «каждый с каждым».

Связь между парой узлов сети будем считать возможной, если 1) мощность принятого приёмником сигнала не ниже его чувствительности, 2) между приёмником и передатчиком нет нерадиопрозрачных препятствий.

Постановка задачи выбора и оптимизации параметров, определяющих роли узлов сети. Рассмотрим формальную математическую модель предложенной процедуры смены роли узлов. Так как роли узлов заранее не фиксируются и могут изменяться с течением времени, то эти роли относятся к неизвестным величинам. С формальной точки зрения определение ролей узлов можно рассматривать как отыскание отображения вида

$$F: V \rightarrow H, \quad (1)$$

где V — множество узлов сети, $H = \{s, r, t\}$ — множество ролей узлов (s — измеритель, r — маршрутизатор, t — шлюз). Для параметризации конечного отображения (1) введем характеристические двоичные переменные y_{ih} , где

$$y_{ih} = \begin{cases} 1 & \text{если ролью узла } i \in V \text{ является } h \in H \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}. \quad (2)$$

В этом случае условие, которому должны удовлетворять переменные y_{ih} , можно представить в виде следующего ограничения:

$$\sum_{h \in H} y_{ih} = 1 \quad \text{для всех } i \in V. \quad (3)$$

Для формализации условий, отражающих возможность передачи сообщений от узлов-измерителей к узлам-шлюзам, рассмотрим граф (сеть) $N = (V, E)$, где V — множество узлов, $E \subseteq V \times V$ — множество дуг, для которого $(i, j) \in E$, если возможна передача сообщения из узла i в узел j . Тогда необходимым условием, обуславливающим функционирование сети, является условие достижимости узлов-шлюзов из узлов-приемников непосредственно или через узлы-шлюзы, с учетом того обстоятельства, что роли узлов являются переменными величинами.

С точки зрения сетевого анализа [3, 4] достижимость можно рассматривать как существование допустимых решений потоковой задачи, т. е. решений, удовлетворяющих следующей системе ограничений:

$$\begin{aligned} Ax &= b \\ 0 &\leq x \leq 1, \end{aligned} \quad (4)$$

где $x = (x_{ij})$ — вектор элементарных потоков по дугам сети $(i, j) \in E$, A — матрица инцидентий сети (графа), $b = (b_i)$ — вектор правых частей, компоненты которого определяют дивергенцию потока в каждом из узлов $i \in V$ ($b_i > 0$ для узлов-источников, $b_i < 0$ для узлов-стоков, $b_i = 0$ для промежуточных узлов, в которых поток сохраняется). Заметим, что для достижимости узла j из узла i достаточно, чтобы существовал единичный поток из i в j , поэтому пропускные способности всех дуг сети можно взять равными единице. Так как роли узлов определяются двоичными переменными y_{ih} (2), то отдельное ограничение-равенство (4) с учетом ограничения (3) будет иметь следующий вид:

$$\sum_{(i,j) \in E} x_{ij} - \sum_{(j,i) \in E} x_{ji} = +y_{is} - y_{it}, \quad (5)$$

где дивергенция потока в узле i (правая часть) определяется ролью этого узла в сети.

Хотя на топологию сети не накладываются никакие ограничения, т.е. допускается топология "каждый с каждым", для возможности передачи сообщений расстояние между соответствующими узлами не должно превышать некоторого заданного максимального значения. С точки зрения рассматриваемой модели это означает что граф сети не является полным, причем наличие или отсутствие некоторого ребра графа определяется геометрическими положениями узлов.

Пусть геометрическое пространство возможных положений узлов сети (область мониторинга) разбита на непересекающиеся ячейки:

$$F = \bigcup_{k=1}^N F_k. \quad (6)$$

Тогда геометрическое положение отдельного узла $i \in V$ можно охарактеризовать двоичным вектором $z_{ik} \in \{0,1\}$, где $z_{ik}=1$, если узел i находится в ячейке F_k . Так как ячейки не пересекаются, то каждый узел должен находиться ровно в одной ячейке, т.е. векторы $z_i = (z_{ik})$ должны удовлетворять ограничению:

$$\sum_{k=1}^n z_{ik} = 1 \quad \text{для всех } i \in V. \quad (7)$$

Определим расстояние между ячейками F_k и F_l следующим образом:

$$\rho_{kl} = \max_{u \in F_k, v \in F_l} \|u - v\|, \quad (8)$$

где $\|\cdot\|$ — подходящая векторная норма (длина вектора). Разбиение (6) можно считать заданным, поэтому все величины ρ_{kl} могут быть определены заранее.

Очевидно, что узел i находится в ячейке F_k и узел j находится в ячейке F_l тогда и только тогда, когда одновременно $z_{ik}=1$ и $z_{jl}=1$, или, что то же самое, когда:

$$t_{ijkl} = z_{ik} \& z_{jl} = 1. \quad (9)$$

Данное логическое условие с учетом двоичности входящих в него переменных можно записать в виде следующего линейного неравенства:

$$0 \leq z_{ik} + z_{jl} - 2t_{ijkl} \leq 1. \quad (10)$$

Формулы (8) и (10) позволяют получить оценку расстояния r_{ij} между узлами i и j как расстояние между соответствующими ячейками в следующем виде:

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N t_{ijkl}. \quad (11)$$

Пусть $r_{\max}$ — максимальное расстояние между узлами, при котором возможен обмен сообщениями. Тогда дуга (i, j) существует если и только если $r_{ij} \leq r_{\max}$. Заметим, что отсутствие дуги (i, j) эквивалентно тому, что такая дуга имеет нулевую пропускную способность. Это позволяет заменить ограничения-неравенства системы (4) следующими ограничениями, которые учитывают расстояние между узлами:

$$r_{\max} - Mx_{ij} \leq r_{ij} \leq r_{\max} + M(1 - x_{ij}), \quad (12)$$

где M — так называемое «большое M », которое можно взять равным числу узлов сети.

Можно видеть, что хотя рассмотренные ограничения определяют решения, удовлетворяющие условие достижимости узлов, эта система ограничений является не полной. Действительно, система (5) допускает нулевые решения, что следует из однородности этой системы, где нулевое решение соответствует отсутствию узлов-источников (измерителей). Поскольку функциональным назначением рассматриваемой сети является мониторинг параметров среды в некоторой области, то также необходимо учесть дополнительные условия, связанные с покрытием всей области мониторинга достаточным числом узлов-измерителей. Это требование эквивалентно тому, чтобы вблизи каждого участка указанной области находился хотя бы один узел-измеритель. Используя переменные z_{ik} , определяющие расположение узлов в ячейках области мониторинга, соответствующее условие можно записать следующим образом:

$$\sum_{i \in S} z_{ik} \geq 1 \quad \text{для всех } k = 1, \dots, N. \quad (13)$$

Данное ограничение выражает требование, что в каждой ячейке находится не менее одного узла-приемника.

Рассмотренные выше переменные и ограничения являются основными компонентами формальной постановки задачи оптимизации, относящейся к классу ЦЛП-задач с 0-1-переменными.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-08-01028а.

Список литературы

1. Макарова С.М., Падалко С.Н., Строгонова Л.Б., Терентьев М.Н. Непрерывный круглосуточный медицинский контроль психофизиологического состояния и координат космонавтов с использованием беспроводной сенсорной сети. — Вестник Московского авиационного института. — Москва: МАИ, 2012. — Т.19. — № 2, с. 177-181.
2. Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Автоматизированное проектирование адаптивных дискретных беспроводных сенсорных сетей для космических систем. — Москва: Изд-во МАИ, 2013. — 128 с.
3. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. — М.: Мир, 1981.
4. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы. — М.: Мир, 1984.

05.07.05

Е.В. Мехоношина, В.Я. Модорский

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
аэрокосмический факультет, Центр высокопроизводительных вычислительных систем,
Пермь. enya5591@gmail.com, modorsky@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОУПРУГОЙ РАБОТЫ КОМПРЕССОРА

Данная работа посвящена разработке методики численного моделирования работы компрессоров ANSYS 15. Проведены расчеты напряженно-деформированного состояния конструкции с учетом действия газодинамической нагрузки. Показано, что аналитический расчет дает верхнюю оценку перемещений лопастей рабочего колеса, что позволит в дальнейшем при проектировании более обоснованно назначать запасы прочности.

Ключевые слова: компрессор, газодинамическая сила, напряженно-деформированное состояние, связанная задача аэроупругости, методика численного моделирования.

Современным средством исследования и прогнозирования вибраций является вычислительный эксперимент. Мировой уровень численных исследований позволяет моделировать динамику валов с закрепленными на них элементами и с учетом магнитных подвесов. Однако, в большинстве случаев вибрации в валопроводах возникают непрогнозируемо. Это значит, что существующие методики не учитывают важные факторы, влияющие возможность возникновения колебательных процессов в газоперекачивающих агрегатах (ГПА). Одним из таких факторов может явиться газодинамическая нагрузка [1]. Аналогичные проблемы возникают и в других типах лопастных машин [2, 3, 4]. Вместе с тем, в настоящее время нет методик, позволяющих моделировать вибрации в ГПА с учетом газодинамических нагрузок. Поиску путей решения этой проблемы и посвящена данная работа.

Рассмотрена модельная задача влияния газодинамических процессов на напряженно-деформированное состояние конструкции. Построены физическая, математическая и сеточная модели для решения связанной задачи, составлена методика проведения вычислительных экспериментов.

Расчеты проведены в системе компьютерного инженерного анализа ANSYS 15 с использованием мощностей высокопроизводительного вычислительного комплекса ПНИПУ, имеющего следующие технические характеристики: 112 вычислительных узлов на 128 четырехядерных процессорах AMD Opteron «Barcelona-3» (512 ядер) и на 48 восьмиядерных процессорах «Intel Xeon E5-2680» (384 ядра); 12 вычислительных модулей GPU NVIDIA Tesla M 2090; пиковая производительность 24 TFlops; производительность в тестовом пакете Linpack 78% от пиковой; объем системы хранения информации 24 ТБ; объем оперативной памяти 128 Гбайт/узел.

Разработана методика расчета влияния газодинамических нагрузок на напряженно-деформированное состояние конструкции рабочего колеса компрессора. Выделено 12 этапов. Они представлены на рисунке 1.

В соответствии с методикой сформирована физическая модель, затем выбрана математическая модель газодинамического процесса, которая базируется на законах сохранения массы, импульса, энергии, уравнении состояния совершенного сжимаемого газа, начальных и граничных условиях. Расчетная схема – трехмерная. При расчетах выделены две зоны: статическая (вблизи стенок корпуса) и динамическая (вблизи лопастей рабочего колеса). Для каждой зоны построена своя сетка. Стенки конструкции не поглощают и не выделяют тепло. При построении расчетной твердотельной и сеточной моделей учитывается симметрия конструкции.

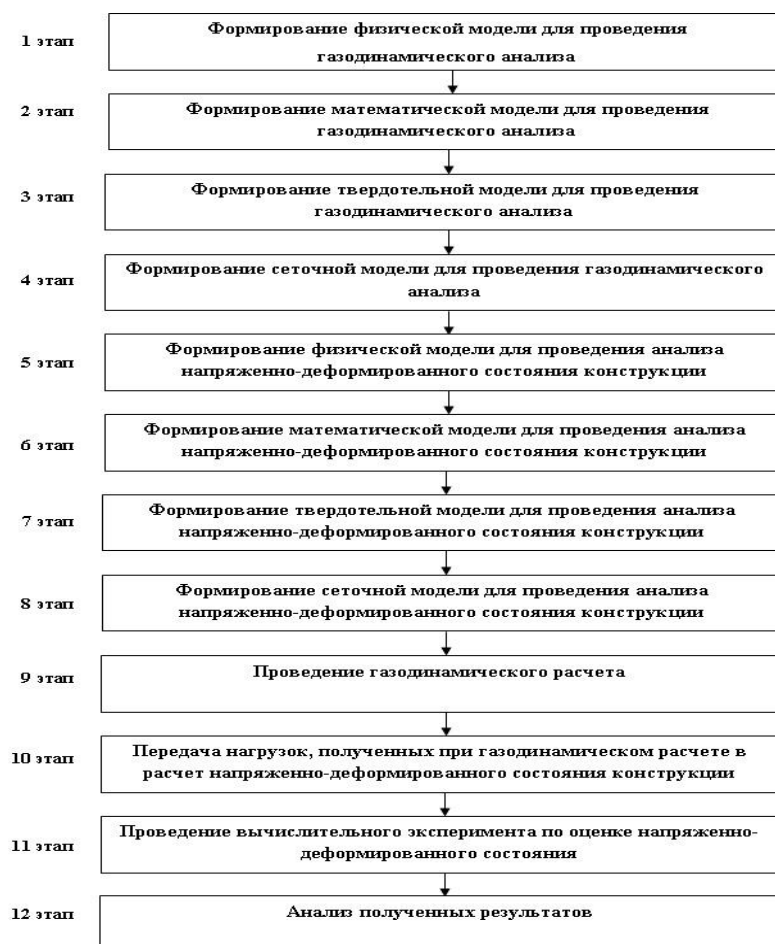


Рис. 1 – Блок-схема методики численного моделирования аэроупругой работы компрессора

На рисунке 2а представлена твердотельная модель для проведения газодинамического анализа (1 – 4 этапы).

Далее в соответствии с разработанной методикой сформированы физическая и математическая модели напряженно-деформированного состояния конструкции. Математическая модель включает в себя законы сохранения массы, импульса и замыкается уравнениями Коши, обобщенным законом Гука, а также начальными и граничными условиями. Расчетная схема конструкции – трехмерная. При построении расчетной твердотельной и сеточной моделей учитывается симметрия конструкции.

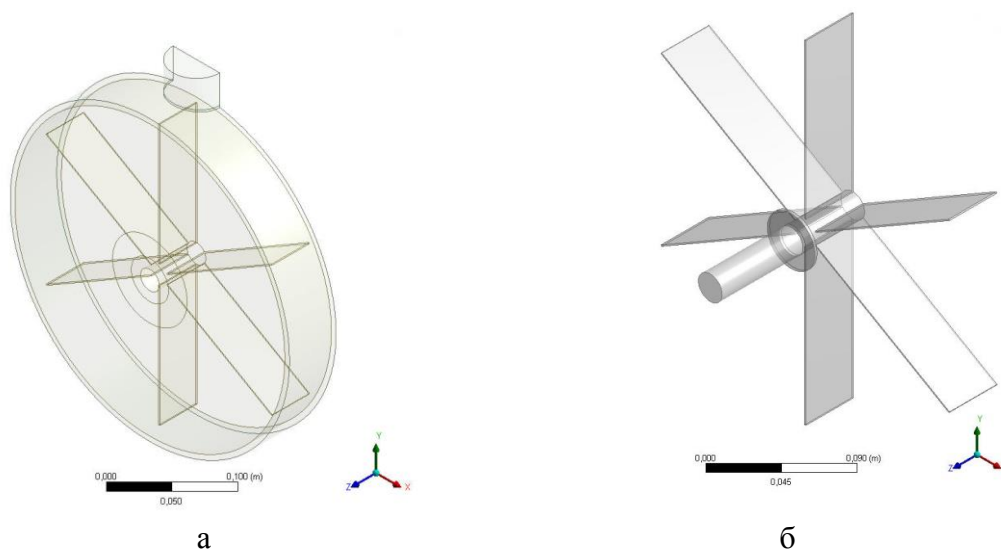


Рис. 2 – Расчетные твердотельные модели:
а – газодинамического тракта; б – рабочего колеса

Твердотельная модель, показанная на рисунке 2б, использовалась также и для проведения расчета напряженно-деформированного состояния конструкции (5 – 8 этапы).

В результате расчетов получены поля давленияи скоростигазодинамического потока. Проведена оценка влияния скорости вращения рабочего колеса на поля давленийи скоростей потока в газодинамическом тракте.

В соответствии с методикой произведен экспорт газодинамических нагрузок на рабочее колесо в модуль расчета напряженно-деформированного состояния ANSYS 15.

Также получены распределения деформаций, напряжений и перемещений лопастей под воздействием газодинамических нагрузок.

Проведена оценка влияния скорости вращения рабочего колесана напряженно-деформированное состояние лопастей рабочего колеса.

Расчеты проведены при следующих скоростях вращения рабочего колеса: 350, 900, 2000, 3200, 5000, 7000, 9000 об/мин. Результаты численных экспериментов отражены на рисунке 3.

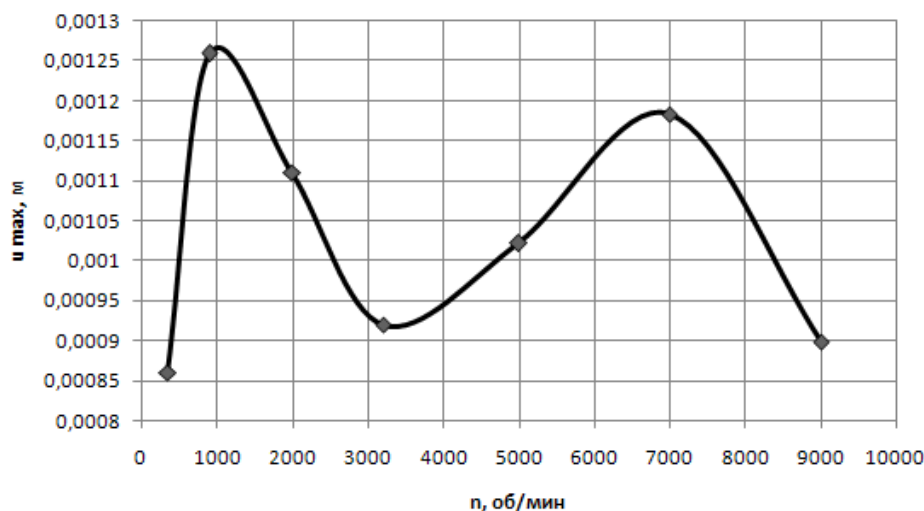


Рис. 3 – Влияние числа оборотов лопастей на максимальные перемещения конструкции

Произведено сравнение результатов численного моделирования и аналитического расчета.

Известно, что максимальный прогиб f консольной балки постоянного поперечного сечения определяется следующим выражением [5]:

$$f = -\frac{ql^4}{8EJ}, \quad (1)$$

где l – длина балки, м.

Момент инерцииотносительно оси z определяется по следующей зависимости:

$$J_z = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,08 \cdot 0,001^3}{12} = 6,6 \cdot 10^{-12}, \quad (2)$$

где b – ширина балки (по оси z), м;

h – высота балки (по оси y), м.

Найдем равномерно распределенную нагрузку q . Воспользуемся результатами газодинамического расчета. Выведем поля давлений, действующих на разные стороны лопасти, а затем определим разницу давлений между ними. В соответствии с палитрой результатов вычислительного эксперимента, выделим 12 участков. Найдем разницу давлений на каждом из них. Расчет ведем через значения среднего давления на каждом интервале палитры.

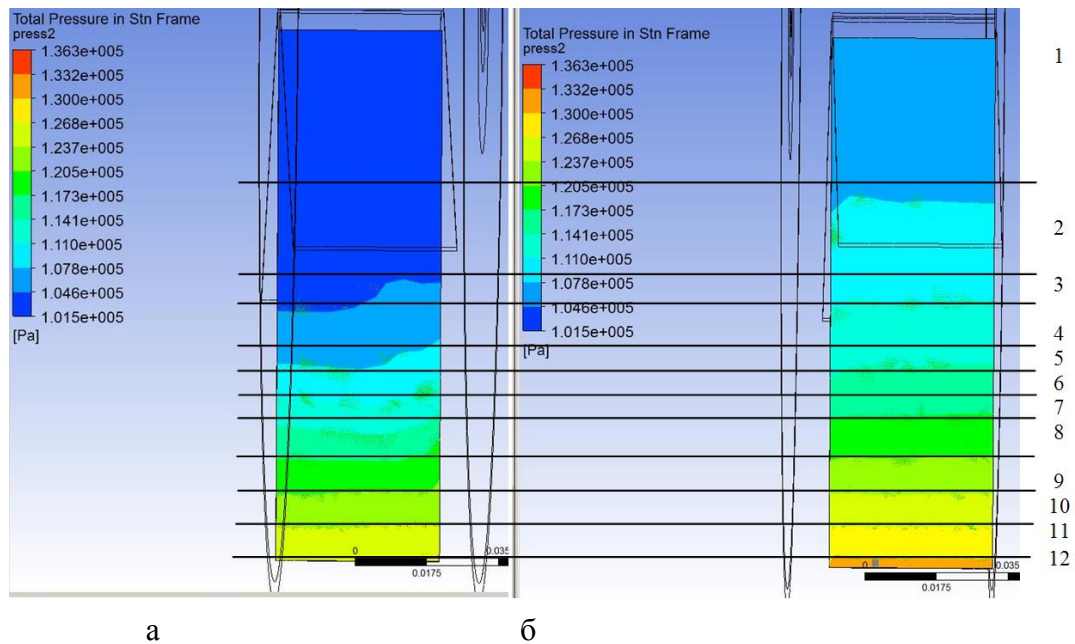


Рис. 4 – Поля распределения давления на:

а – корыте лопатки рабочего колеса (p_2); б – спинке лопатки рабочего колеса (p_1)

Разница давлений сведена в таблицу 1.

Поверхностная нагрузка, определяется следующим образом:

$$q = p \cdot b; \quad (3)$$

$$q = 3150 \cdot 0.08 = 252 \text{ Н/м.}$$

Длину балки (лопасти) l примем с учетом диаметра вала, на котором она крепится.

$$l = 0.14 - 0.015 = 0.125 \text{ м}$$

Подставим эти данные в формулу (1) для расчета прогиба и получим:

$$f = -\frac{252 \cdot 0.125^4}{8 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 6.6 \cdot 10^{-12}}$$

$$f = -0.00583 \text{ м}$$

Таблица 1 – Разница давлений на корыте и спинке лопатки рабочего колеса

№	$(p_2 - p_1) \cdot 10^5, \text{Па}$	$\Delta p, \text{Па}$
1	1,062-1,0305	0,0315
2	1,094-1,0305	0,00635
3	1,094-1,062	0,0325
4	1,125-1,0625	0,0635
5	1,062-1,0305	0,0315
6	1,157-1,1255	0,0315
7	1,157-1,1255	0,0315
8	1,189-1,157	0,032
9	1,221-1,189	0,032
10	1,2525-1,221	0,0315
11	1,284-1,2525	0,0315
12	1,316-1,2525	0,0635

Сравнивая результаты, полученные численно и аналитическим путем, получаем, что возникающая относительная погрешность, возможно, обусловлена тем, что в аналитической модели не учитывается взаимовлияние газа и конструкции. Что подтверждает необходимость

продолжения работ в данном направлении и дальнейшую верификацию результатов численного эксперимента в связанной постановке.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00877).

Список литературы

1. *Модорский В.Я., Соколкин Ю.В.* Газоупругие процессы в энергетических установках. – М. Наука, 2007 – 176 с.
2. Решение инженерных задач на высокопроизводительном вычислительном комплексе Пермского национального исследовательского политехнического университета, [под ред. В.Я. Модорского]. - Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. - 314с., ISBN 978-5-398-01140-1
3. *Д.Ф. Гайнутдинова, А.В. Козлова, В.Я. Модорский, Е.В. Мехоношина*, Численное моделирование кавитационных эффектов при действии вибрации. Научно-технический вестник Поволжья. №6 2013г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – 526 с. (219-223стр.)ISSN 2079-5920
4. *Е.В. Мехоношина, В.Я. Модорский, А.В. Козлова, Д.Ф. Гайнутдинова*, Исследование влияния вибраций и давления на возникновение кавитации. Научно-технический вестник Поволжья. №6 2013г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – 526 с. (364-368стр.)ISSN 2079-5920
5. Справочник по сопротивлению материалов /*Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.* – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: «Издательство Дельта», 2008. – 816 с.

05.23.17

Ж.Г. Могилюк, М.С. Хлыстунов

Московский государственный строительный университет,
кафедра прикладной механики и математики, Москва, mcsxmgusu@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В статье рассмотрены метрологические проблемы измерения параметров векторных динамических нагрузок при использовании систем с тремя однокомпонентными датчиками вибраций. Анализируются источники динамической погрешности и ложной прецессии полученного вектора при использовании аналоговых и цифровых измерительных систем. Сформулирован комплекс задач по устранению амплитудных и фазовых искажений при измерении векторных параметров нестационарных динамических нагрузок.

Ключевые слова: динамические нагрузки, векторные параметры, цифровой мониторинг, погрешность.

Настоящая статья входит в серию публикаций авторов по метрологическим проблемам применения цифровых технологий измерения векторных параметров динамических нагрузок в различных сферах машиностроения и строительства [1-3]. Актуальность темы исследования динамической погрешности обусловлена метрологическим «вакуумом» при внедрении цифровых технологий и систем мониторинга [4]. При этом не всегда корректно, с метрологической точки зрения, на них распространяется термин: «тонкие или высокие технологии».

За счет высокой помехоустойчивости цифровых сигналов устраняется погрешность измерений, вносимая в канал регистрации всеми видами внутренних и внешних помех.

С другой стороны, в общем случае, усложняются задачи метрологического обеспечения цифровых измерительных систем по сравнению с аналоговыми. Например, динамические погрешности цифровых измерений векторных параметров нестационарных динамических процессов вносят дополнительную неопределенность в результаты вычислений параметров динамического вектора и, тем самым, резко снижают достоверность мониторинга.

В связи с этим, упрощая методику и логику анализа, на первом этапе анализа рассмотрим идеальный процесс аналогового измерения динамического вектора, амплитуда которого изменяется по гармоническому закону с частотой ω и с начальной фазой γ , а направление вектора будем считать неизменным, кроме периодического изменения знака этого направления. Процесс аналогового измерения вектора системой из трех однокомпонентных датчиков можно описать матричным уравнением:

$$\begin{pmatrix} k_{11}e^{j\varphi_{11}} & 0 & 0 \\ 0 & k_{22}e^{j\varphi_{22}} & 0 \\ 0 & 0 & k_{33}e^{j\varphi_{33}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_1e^{j(\omega t+\gamma)} \\ x_2e^{j(\omega t+\gamma)} \\ x_3e^{j(\omega t+\gamma)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_1e^{j(\omega t+\gamma+\varphi_{11})} \\ V_2e^{j(\omega t+\gamma+\varphi_{22})} \\ V_3e^{j(\omega t+\gamma+\varphi_{33})} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $k_{ii}, \varphi_{ii}, x_i, V_i$ – соответственно, коэффициент преобразования и сдвиг фазы датчика, измеряющего i -тую компоненту вектора, неизвестная амплитуда i -той компоненты вектора и амплитуда выходного сигнала этого датчика.

Если погрешности датчиков по коэффициенту преобразования и сдвигу фазы равны нулю $\Delta k_{ii} = 0$ и $\Delta \varphi_{ii} = 0$, на первом этапе вычисляются значения компонент вектора, а на втором – его амплитуда и направление.

Этот процесс вычислений можно представить в виде следующего матричного уравнения:

$$\begin{pmatrix} V_1e^{j(\omega t+\gamma+\varphi_{11})} \\ V_2e^{j(\omega t+\gamma+\varphi_{22})} \\ V_3e^{j(\omega t+\gamma+\varphi_{33})} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{1}{k_{11}e^{j\varphi_{11}}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{k_{22}e^{j\varphi_{22}}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{k_{33}e^{j\varphi_{33}}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{x}_1e^{j(\omega t+\gamma)} \\ \bar{x}_2e^{j(\omega t+\gamma)} \\ \bar{x}_3e^{j(\omega t+\gamma)} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где, вследствие идеальности системы измерений, $\bar{x}_i = x_i$, амплитуда или модуль вектора будет равен $X = \sqrt{\bar{x}_1^2 + \bar{x}_2^2 + \bar{x}_3^2}$, а его направление относительно осей датчиков можно вычислить по следующим формулам:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{\bar{x}_1}{X}, \alpha_2 = \arccos \frac{\bar{x}_2}{X}, \alpha_3 = \arccos \frac{\bar{x}_3}{X}. \quad (3)$$

В реальных измерительных системах $\Delta k_{ii} \neq 0$ и $\Delta \varphi_{ii} \neq 0$ и погрешность вычисления модуля вектора будет определяться нормой по Евклиду и зависеть от момента времени отсчета амплитуды измеряемых колебаний:

$$\begin{aligned} \Delta X &= \sqrt{\sum_{i=1}^3 [\bar{x}_i e^{j(\omega t + \gamma + \Delta \varphi_{ii})} - x_i e^{j(\omega t + \gamma)}]^2} = \\ &= \sqrt{\sum_{i=1}^3 e^{2j(\omega t + \gamma)} [\bar{x}_i e^{j\Delta \varphi_{ii}} - x_i]^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

В геометрической интерпретации для реального случая, когда сдвиги по фазе датчиков отличаются друг от друга, зависимость модуля от времени отсчета можно представить в виде пространственной кривой Лиссажу (см. на рис.1 выделена красным пунктиром).

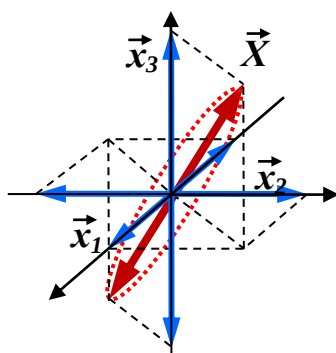


Рис.1- Годограф (красная пунктирная кривая) виртуального вектора

$\vec{X}(t)$, полученного в результате измерения вектора стационарных гармонических колебаний с использованием трех однокомпонентных датчиков с разными сдвигами фаз

Усложним задачу, сохраняя систему измерения идеальной, а векторный динамический параметр представим в виде периодической, но негармонической функции.

Тогда, например, компонента $x_i(t)$ измеряемого вектора $\vec{X}(t)$ может быть представлена конечным рядом Фурье в виде суммы N гармоник $x_{in}(t)$,

$$x_i(t) = \sum_{n=0}^N x_{in}(t) = \sum_{n=0}^N a_{in} e^{j(\omega_{in} t + \varphi_{in})}, \quad (5)$$

где a_{in} , $\omega_{in} = n\omega_{i0}$, φ_{in} – соответственно, неизвестные амплитуда, частота и фаза n -той гармоники.

В случае применения идеальной системы измерения из трех однокомпонентных датчиков процесс аналогового измерения может быть представлен трехмерным матричным уравнением, n -тый слой которого будет иметь следующий вид:

$$\begin{pmatrix} k_{n11} e^{j\varphi_{n11}} & 0 & 0 \\ 0 & k_{n22} e^{j\varphi_{n22}} & 0 \\ 0 & 0 & k_{n33} e^{j\varphi_{n33}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_{n1} e^{j(\omega_n t + \gamma_n)} \\ x_{n2} e^{j(\omega_n t + \gamma_n)} \\ x_{n3} e^{j(\omega_n t + \gamma_n)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{n1} e^{j(\omega_n t + \gamma_n + \varphi_{n11})} \\ V_{n2} e^{j(\omega_n t + \gamma_n + \varphi_{n22})} \\ V_{n3} e^{j(\omega_n t + \gamma_n + \varphi_{n33})} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Таким образом процесс измерения согласно матричному уравнению (6) может быть представлен системой из $3N$ трансцендентных уравнений, содержащих $5N$ неизвестных, включая x_{ni} , ω_n , γ_n . Такая система (6) не имеет решений. Попытки применения численных (цифровых) методов спектрального анализа, с одной стороны, дают возможность выделения в выходном сигнале датчиков отдельных спектральных составляющих и построения отдельных спектральных компонент вектора. Векторная сумма спектральных компонент в этом случае позволит получить значения модуля и направления действия вектора. Как в первом, так и во втором случаях сохраняется проблема динамической погрешности, то есть оценки прецессии годографа виртуального вектора, как показано на рис.1.

С другой стороны, применение численных методов спектрального анализа существенно усложняет задачу оценки динамической погрешности и достоверности результирующей информации о модуле, фазе и направлении действия широкополосного вектора. Это связано с существенным искажением спектров измеряемых компонент вектора в результате дискретизации и применения оконных технологий для сглаживания границ массива анализируемой информации. В связи с этим виртуальный вектор (полученный в результате измерений отдельных его компонент и последующих вычислений) будет совершать прецессию вдоль неподдающихся строгому анализу сложных пространственных кривых Лиссажу.

Наряду с этим существует третья острая метрологическая проблема восстановления параметров нестационарного динамического вектора по данным измерения его компонент. Эта проблема сохраняет свою актуальность как при использовании аналоговых, так и цифровых систем измерения. Сущность проблемы заключается в следующем.

В метрологических паспортах российских и зарубежных датчиков, например, скоростей или ускорений приводятся только их амплитудно-частотные характеристики. Эти характеристики (АЧХ) строятся на базе экспериментальной метрологической аттестации приборов с использованием эталонных гармонических воздействий (вибраций) с постоянной амплитудой. В связи с этим АЧХ корректно использовать только при измерении гармонических или стационарных периодических вибрационных нагрузок. В случае нестационарных динамических векторных нагрузок, например, характерных для вибраций с пульсирующей по неизвестному закону амплитудой, форма АЧХ и ФЧХ (фазовая частотная характеристика) датчиков также будет пульсировать и существенно зависеть от крутизны переднего и заднего фронтов виброимпульса. Тривиальные (прямые) методы использования лапласовских передаточных функций или импульсных характеристик датчиков не дают необходимой точности восстановления истинных значений параметров нестационарного динамического вектора. Наряду с этим существенно усложняется оценка динамической погрешности измерений в связи с отсутствием алгоритмов ее корректной оценки.

Исследования, результаты которых представлены в настоящей статье, выполнялись при поддержке Министерства образования и науки РФ (Задание №2014/107 в рамках выполнения НИР «Разработка теоретических основ устойчивости зданий и сооружений в условиях природных, техногенных и комбинированных взаимодействий»).

Список литературы

1. Хлыстунов М.С. Метрологические проблемы реализации нормативных требований к динамическим обследованиям зданий и сооружений. //Промышленное и гражданское строительство/, №9, 2013, С.47-50
2. Хлыстунов М.С., Подувальцев В.В., Могилюк Ж.Г. Инженерно-физические проблемы достоверности динамического обследования и мониторинга объектов строительства и техносферы. // Сб. докладов XI Всероссийского совещания-семинара «Инженерно-физические проблемы новой техники». –М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана 15 – 17 апреля 2014 г., С. 170 - 173
3. Хлыстунов М.С., Подувальцев В.В., Могилюк Ж.Г. Проблемы достоверности и метрологический анализ спектральных фантомов цифровых технологий // Метрология, №7, 2013, С.8-17
4. Подувальцев В.В. О метрологической экспертизе и наиболее насущных проблемах метрологического обеспечения. // Наука и образ., 2012. Вып. 2 [электрон. ресурс] (дата обращения 13.03.2013) <http://technomag.edu.ru/doc/327076.html>.

05.13.06

Р.А.Нурмухаметов, Ю.А.Чурсин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок,
Томск, ran@tpu.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ СТЕКА ПРОТОКОЛОВ TCP/IP НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С ЯДРОМ ARM7

В настоящей статье будет представлена общие сведения о стеке протоколов TCP/IP, а так же результаты реализации такого стека протоколов на лабораторном стенде SDK 2.0 производства компании «ООО ЛМТ».

Ключевые слова: *Стек протоколов, TCP/IP, клиент, сервер, пакет, Ethernet, данные, интерфейс, микроконтроллер.*

Введение

Сеть Internet изменила способ представления информации, собрав на своих серверах все ее виды — текст, графику и звук. Соединение и взаимодействие в рамках одной мощной компьютерной сети явилось целью проектирования и создания семейства протоколов, названных в дальнейшем стеком протоколов TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Главной идеей стека является создание механизма межсетевого обмена. Основное достоинство стека протоколов TCP/IP в том, что он обеспечивает надежную связь между сетевым оборудованием от различных производителей. История создания стека протоколов TCP/IP началась с момента, когда Министерство обороны США столкнулось с проблемой объединения большого числа компьютеров с различными операционными системами. Для этого в 1970 году был составлен набор стандартов. Протоколы, разработанные на базе этих стандартов, получили название TCP/IP [1]. Любая современная операционная система имеет поддержку стека TCP/IP и много стандартного ПО для работы с ним. Как следствие, микроконтроллер будет доступен с любого компьютера, подключенного к интернету. В том числе, по беспроводному соединению, что значительно расширяет область применения микроконтроллера. Устройство само может выходить в интернет по расписанию и получать необходимые данные, например, прогноз погоды, точное время и т. д. К тому же 100 Мбит/с — более чем прилично для микроконтроллерного устройства [2].

Краткая теория стека TCP/IP

TCP/IP — это набор связанных между собой протоколов, которые работают в сети одновременно и обеспечивают подготовку, прием и передачу данных. Работа различных протоколов должна быть скоординирована так, чтобы исключить конфликты — этого можно достичь с помощью разбиения стека на уровни [3].

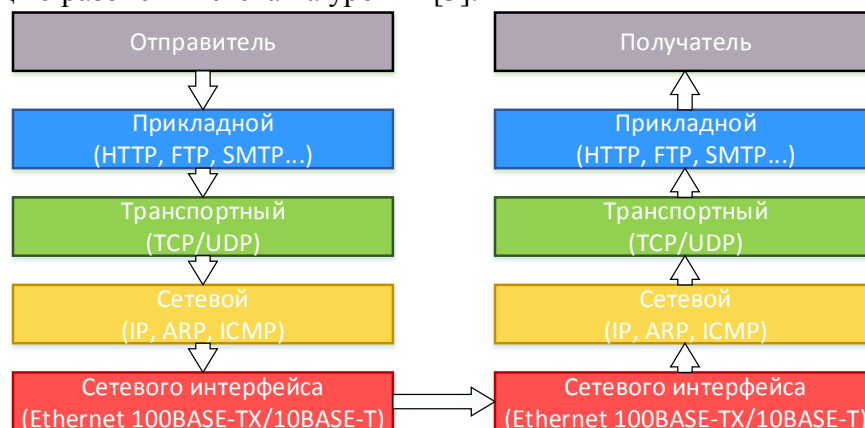


Рис. 1 – Схема передачи данных с использованием стека TCP/IP

Каждый уровень обслуживает следующий (верхний) и обслуживается предыдущим (нижним), причем особенности функционирования каждого уровня скрыты от других

уровней. При посылке сообщения от одной прикладной программы к другой сообщение проходит вниз через все уровни стека. На каждом уровне к сообщению добавляются заголовки соответствующих протоколов. Далее происходит передача пакета по уровню сетевого интерфейса, прием его получателем и передача его вверх через все уровни стека до прикладной программы. Путь передачи сообщения проиллюстрирован на рисунке 1.

Рассмотрим подробнее, как происходит формирование посылки при прохождении данных по всем уровням стека. Для этого на рисунке 2 представлена полная структура пакета с данными, к которым прикреплены последовательно заголовки TCP, IP и Ethernet.

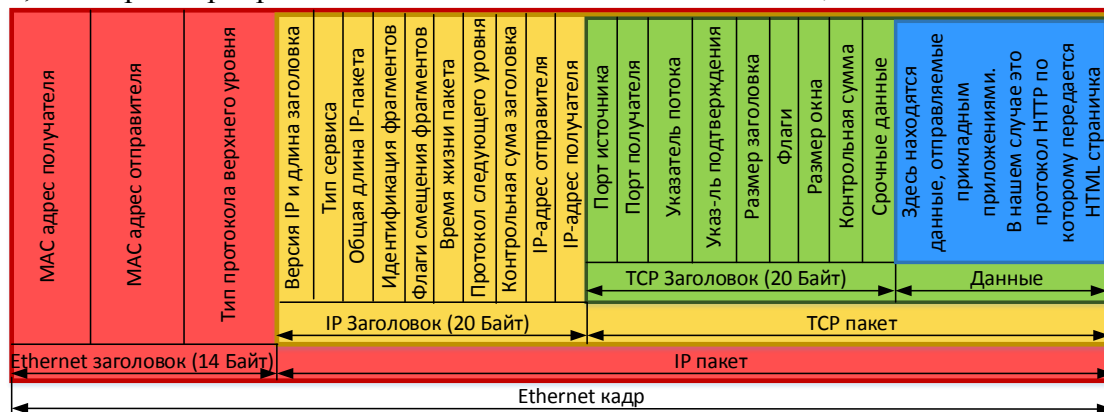


Рис. 2. Структура Ethernet-кадра в стеке протоколов TCP/IP

Необходимые к отправке «заворачиваются» сначала в TCP пакет, путем добавления заголовка размером 20 байт, в который записываются порты источника, получателя, флаги и другая служебная информация. Затем TCP-пакет заворачивается в IP-пакет, путем добавления IP-заголовка длиной 20 байт. К IP-пакету добавляется Ethernet-заголовок длиной 14 байт. Полученный Ethernet-кадр передается в очередь на отправку драйверу LAN91c111. Если же устройство принимает Ethernet-кадр, все этапы проходят в обратном порядке. Стоит отметить при этом, что максимальный размер Ethernet-кадра составляет 1518 байт, а минимальный – 64 байта.

О лабораторном стенде SDK 2.0

Данный стенд производства компании «ООО ЛМТ» построен на основе микроконтроллера от компании Philips LPC2292 с архитектурой ARM7. LPC 2292 работает на частоте до 60 МГц, имеет 16 Кбайт встроенного статического ОЗУ и 256 Кбайт памяти программ, имеет в своем составе распространенные интерфейсы связи, такие как CAN 2.0, UART, I2C и SPI, каналы ввода/вывода дискретных и аналоговых сигналов. Также в составе лабораторного стенда присутствует контроллер Ethernet LAN91c111 производства компании SMSC. Данный контроллер имеет две скорости обмена – 10/100 Мбит/сек и совместимость с IEEE 802.3/802.3u – 100BASE-TX/10BASE-T, несет в своем составе 8 Кбайт встроенной памяти для организации входной и выходной очереди пакетов и поддерживает режимы работы полный дуплекс/полудуплекс. Таким образом ресурсов стенда достаточно для реализации функционала стека протоколов TCP/IP.

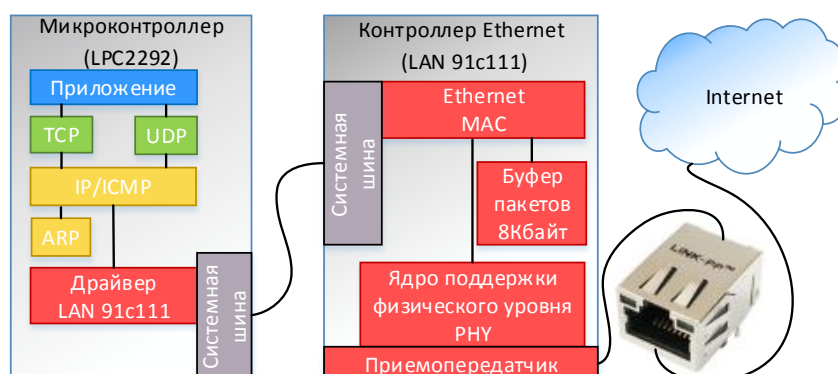


Рис. 3 – Функциональная схема подключения стенда к сети Internet

Реализация обмена данными по TCP/IP

Шаги	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Указатель потока	111	222	112	112	223	223	212	212	423
Указатель подтверждения	0	112	223	223	212	212	423	423	213
Флаги	SYN	SYN, ACK	ACK	ACK	ACK	ACK, FIN	ACK	ACK, FIN	ACK
Данные	–	–	–	100 байт	–	200 байт	–	–	–

Рис. 4 – Пример обмена данными по протоколу TCP

Рассмотрим по шагам, как происходит обмен данными по протоколу TCP/IP между клиентом и сервером на примере запроса клиентом web странички с данными от сервера. В нашем случае клиентом является браузер офисного ПК, а сервером – стенд SDK 2.0.

Шаг 1. Клиент (браузер) отправляет пакет с установленным флагом SYN. Этот флаг означает синхронизацию начальных значений указателей потока, которое выбирается случайным образом, например 111.

Шаг 2. Сервер (стенд), распознав в пакете флаг SYN отправляет пакетом с установленными флагами SYN, ACK. Флаг ACK означает подтверждение приема.

Шаг 3. Наконец, клиент отправляет пакет с установленным флагом подтверждения. После отправки этого пакета соединение считается установленным.

Шаг 4. Клиент отправляет запрос, в котором содержится, например, 100 байт данных. Указатели потока и подтверждения остаются неизменными.

Шаг 5,6. Сервер принял пакет с данными. Микроконтроллер формирует HTML документ размером, 200 байт. Пусть после того, как страничка будет отправлена сервер хочет закрыть соединение. Для этого в пакете со страничкой добавляем флаг FIN, который указывает на закрытие соединения.

Шаг 7,8. Клиент получает HTML страничку, которая отображается в браузере. Тут же отправляется подтверждение о получении данных. Следом клиент отправляет пакет с флагом FIN, чем подтверждает закрытие соединения.

Шаг 9. Сервер отправляет подтверждение о принятии последнего пакета. Указатели потока и подтверждения меняются по тем же правилам.

Это простой пример как может происходить обмен данными между клиентом и сервером по протоколу TCP/IP. Важно то, что создание логического соединения и подтверждение приема каждого пакета, позволяет гарантировать доставку данных.

Заключение

В итоге лабораторный стенд SDK 2.0 с работоспособным стекom TCP/IP на борту выведен на открытые просторы интернета. На данный момент реализован сервер, который по запросу клиента передает ему информацию с микроконтроллера. Это могут быть данные с дискретных и аналоговых каналов ввода/вывода. Так же от клиента могут поступать управляющие сигналы, например зажечь светодиод или подать на ЦАП желаемое напряжение. Цикл обмена данными, который изображен на рисунке 4 составляет в среднем 20 мс, что является хорошим показателем в данной ценовой категории и позволяет решать задачи не только бытового уровня, но и производить мониторинг технологических параметров промышленных объектов. Отсутствие же операционной системы в микроконтроллере делает устройство устойчивым к разного рода DoS атакам.

Список литературы

1. Структура стека протоколов TCP/IP: [электронный ресурс] // URL: http://www.agpu.net/fakult/ipimif/fpiit/kafinf/umk/el_lib/calc_system/lab_work_net/kulgin_3.htm (Дата обращения 20.09. 2014).
2. Подключение микроконтроллера к локальной сети: [электронный ресурс] // URL: <http://we.easyelectronics.ru/electro-and-pc/podklyuchenie-mikrokontrollera-k-lokalnoy-seti.html> (Дата обращения 20.09. 2014).
3. Стандартные стеки и уровни протоколов [электронный ресурс] // URL: <http://www.serviccall.ru/training/course/course3/lesson39/> (Дата обращения 20.09. 2014).

05.13.06

В.В. Опольский, Ю.А. Чурсин

Национальный исследовательский томский политехнический университет,
физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок,
Томск, vvo6@tpu.ru

БЮДЖЕТНАЯ БЕСПРОВОДНАЯ АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА

В работе представлен способ реализации беспроводной системы мониторинга, с применением радиочастотных модулей. Акцент сделан на гибкость настроек, большом количестве подключаемых датчиков, низкой цене. Рассмотрен принцип работы, нюансы работы системы, основная элементная база.

Ключевые слова: радиочастотные модули, система мониторинга, датчики.

Введение

В настоящее время к безопасности на предприятиях предъявляются повышенные требования. В частности, для сохранности здоровья сотрудников АЭС, важно быстро получать информацию о местонахождении чужеродного источника ионизирующего излучения для последующего его удаления. Для автоматизации мониторинга загрязнений широкое распространение получили автономные датчики быстрого сбора информации.

Часто информация, поступающая с современных датчиков дискретна и не требует множества различных значений. В таком случае можно отказаться от использования дорогих Bluetooth- и Wifi-модулей и использовать простые в применении прямо-передатчики, работающие на радиочастотах.

Разработка общей схемы

RF-модуль, или радиомодуль – готовое устройство, осуществляющее последовательную передачу и прием данных посредством беспроводной радиосвязи. Различают аналоговые и цифровые радиомодули, при этом последние пользуются наибольшей популярностью вследствие высокой помехоустойчивости. На вход передатчика подается цифровая последовательная информация, которая проходит процесс модуляции, усиления и далее поступает на антенну. Приемник осуществляет выделение нужного диапазона частот (чаще всего 315 и 434 МГц) с помощью полосно-пропускающего фильтра, усиление, демодуляцию сигнала, и далее выдает цифрой код на выход. Один из основных элементов в радиомодуле – ПАВ-резонатор, прибор, генерирующий высокочастотный периодический сигнал, используя эффект поверхностных акустических волн.

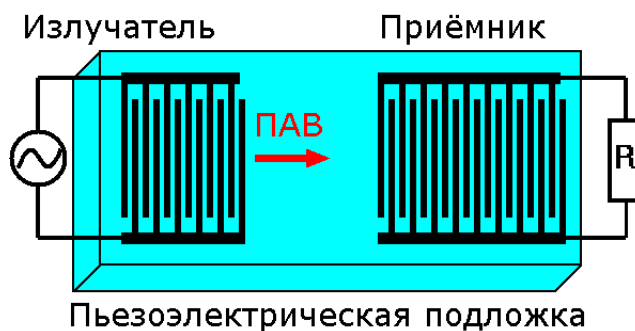


Рис. 1- Упрощенная схема ПАВ-резонатора

Для передачи цифровых данных чаще всего используется ASK-модуляция (от англ. Amplitude-shift keying)[1]. ASK-модуляция - изменение сигнала, при котором скачкообразно меняется амплитуда несущего колебания. Временная диаграмма представлена на рисунке 2.

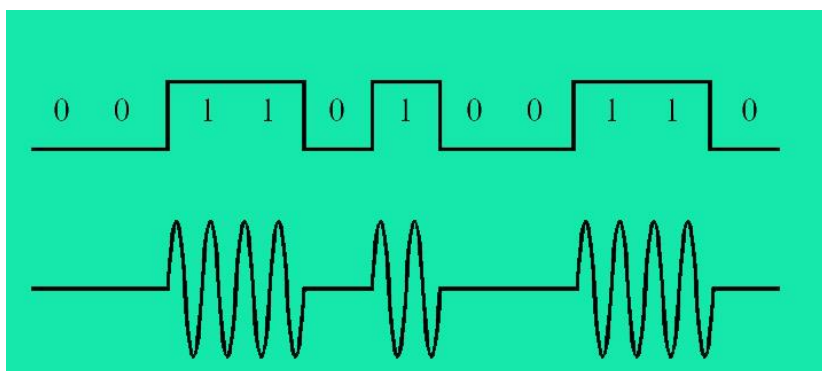


Рис. 2- Временная диаграмма ASK-модуляции

Вследствие высокой зашумленности и большого числа беспроводных устройств радиомодуль неспособен принять нужный сигнал. Для решения этой проблемы применяются кодеры и декодеры цифровой информации. На вход кодера поступает последовательный или параллельный цифровой сигнал, который шифруется по определенному закону и далее поступает на последовательный выход. Декодер принимает закодированный сигнал, обрабатывает его и, если сигналы входят во множество разрешенных, восстанавливает исходный код. В противном случае, обычно, декодер остается в ждущем режиме, оставляя на выходах исходную информацию, либо формирует сигнал об ошибке.

В качестве кодера и декодера также может выступать микроконтроллер, в периферии которого имеются обработчики последовательных протоколов передачи данных. Так как чаще всего радиомодули рассчитаны на один канал, наиболее рационально использовать асинхронные протоколы, как UART, при этом согласование частот и синхронизация упрощается путем использования микроконтроллеров одного типа с идентичной обвязкой.

Система контроля работает следующим образом: в контрольной зоне расставлены передающие устройства с датчиками и радиомодулями, количество которых ограничено числом разрешенных комбинаций информационных битов одного пакета выбранного протокола передачи данных. При этом датчики подключены к микроконтроллеру по выбранному протоколу, имеющемуся в его периферии, либо, если датчик имеет аналоговый выход - то ко входу АЦП. Также в контрольной зоне имеется блок сбора и обработки информации, который, последовательно опрашивая все датчики, передает информацию оператору через стандартный беспроводной интерфейс передачи данных. Блок сбора информации имеет радиомодуль, изначально настроенный, как передатчик. В это время все передающие устройства находятся в режиме приемника. Блок сбора информации формирует кодовую комбинацию, соответствующую одному из передающих устройств, которое при приеме данной комбинации переходит в режим передатчика, а центральный блок – в режим приемника. Далее информация передается на блок сбора информации, где происходит занесение её в память, после чего устройства возвращаются в исходное состояние и посылается запрос на следующий датчик. Таким образом, после опроса всех датчиков, информация проходит первичную обработку и поступает на терминал оператора.

В данной системе одним из главных критериев является высокая помехоустойчивость, которую можно добиться путем введения множества проверочных битов, а также уменьшением числа разрешенных комбинаций. В связи с высокой гибкостью настроек параметров системы можно выбрать количество повторных запросов при ошибке подключения к датчику перед обращением к следующему устройству.

Выбор передающего устройства

Был произведен анализ рынка приемопередатчиков[2], где оптимальным выбором, по одному из основных критериев – доступности, стал радиомодуль AUREL RTX-MID-3V – приемопередатчик цифровых данных работающий на радиочастоте 433,92 МГц[3]. Данный модуль осуществляет ASK-модуляцию цифровых данных.

Функциональная схема модуля представлена на рисунке 3:

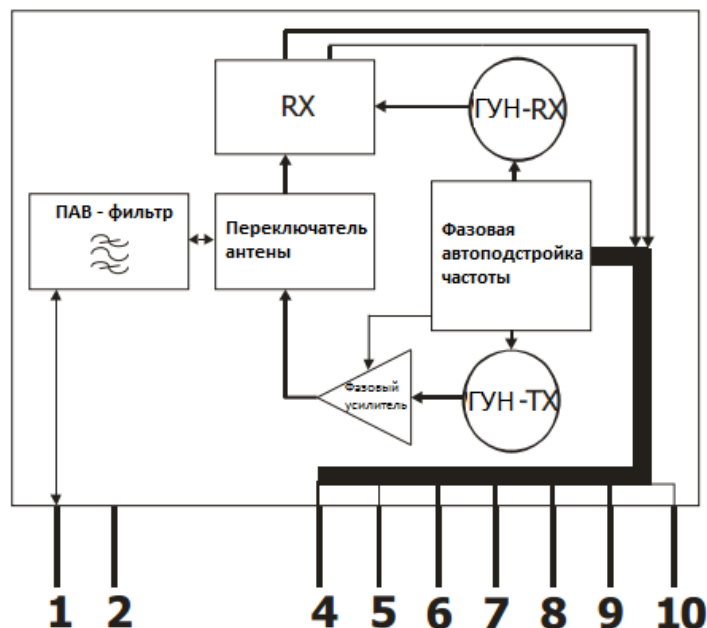


Рис. 3- Функциональная схема модуля

Выбор управляющего процессора

На сегодняшний день такие производители, как Atmel, Microchip и STMicroelectronics предлагают большой выбор микроконтроллеров. Выбор остановлен на 32-разрядном микроконтроллере stm32, так как производитель уделяет большое внимание стабильности работы при больших помехах, а также высокая разрядность позволит быстрее обрабатывать данные. Цена данного микроконтроллера не уступает конкурентам. STM32f103[4] – микропроцессор с ядром семейства Cortex M3, с максимальной тактовой частотой 72 МГц, 128 Килобайтами флэш-памяти, множеством периферийных устройств: 12-битный АЦП, до двух контроллеров I²C, SPI, трех USART, USB и CAN протоколов. Диапазон питающего напряжения может изменяться от 2 до 3,6 вольт, диапазон рабочей температуры: от -40°С до +85°С.

Заключение

В статье были рассмотрены основные принципы работы бюджетной системы мониторинга, а также выбрана элементная база. На данный момент собран тестовый прибор на готовых специализированных шифраторах и дешифраторах, TX-2В и RX-2В, для проверки основных параметров приемопередатчика. В дальнейшем, планируется разработать устройство, управляемое с компьютера и принимающее значения с множества различных датчиков, работающее по вышеописанному алгоритму.

Список литературы

1. Виды модуляции цифровых сигналов. - URL: <http://celnet.ru/typemod.php> (дата обращения 05.10.2014).
2. Каталог приемопередатчиков. - URL: <http://elgrad.net/Main/GoodList.aspx?cat=36> (дата обращения 01.09.2014).
3. Техническая документация на радиочастотный модуль. - URL: http://www.aurelwireless.com/wp-content/uploads/shortform/650201033G_sf.pdf (дата обращения 04.10.2014).
4. Technical Data Sheet - STMicroelectronics- URL: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00161566.pdf> (дата обращения 01.10.2014).

05.13.18

Р.И. Паровик

Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,
физико-математический факультет, кафедра математики и физики,
Петропавловск-Камчатский, romanparovik@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА РАДОНА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СЛОЕ ПОРИСТОГО ГРУНТА

В работе предложены математические модели переноса радона с учетом механизмов диффузии и адвекции в цилиндрическом слое пористого грунта. Найдены аналитические решения моделей с учетом краевых условий.

Ключевые слова: математическая модель, цилиндрический слой, диффузия, адвекция, функция Куммера, функция Трикоми.

Введение. Теория эманационного метода возникла в 30-е годы, как метод геологоразведки урановых руд [1]. Основу этого метода составляют математические модели переноса радона в пористом грунте [2]. Механизмами переноса радона к земной поверхности, как правило являются диффузия и адвекция. Однако в настоящее время хорошо разработаны модели стационарной и нестационарной диффузии [3,4] и недостаточно хорошо модели с учетом адвекции. Интерес к моделям диффузии-адвекции радона возник также в задачах прогнозирования сильных землетрясений [5,6]. Механизм адвекции увеличивает миграционную способность радона к земной поверхности, что очень важно при правильной интерпретации результатов анализа временных рядов радоновых полей [6].

Целью работы является дополнение классической теории эманационного метода новыми математическими моделями переноса радона в грунтовых слоях цилиндрической формы.

Вывод уравнения нестационарной диффузии-адвекции радона в цилиндрическом слое. Рассмотрим процесс нестационарной диффузии и адвекции радона в скважине цилиндрической формы. Выведем уравнение этого процесса для поровой активности радона $A(r, t)$.

Количество эманации в единицу времени в элементарном цилиндрическом слое dr окружностью $2\pi r$ и длиной $l = 1$ может быть записано через уравнение баланса [4]:

$$\frac{\partial(A(r, t)2\pi r dr)}{\partial t} = Q_1 - Q_2 + A_\infty \cdot 2\pi r dr - \lambda A(r, t) \cdot 2\pi r dr, \quad (1)$$

где $Q_2 = Q_1 + dQ$, знак плюс указывает, что значения радиуса r возрастают от внутренней к внешней границе слоя dr . Поток радоновой эманации через кольцевой слой единичной длины имеет вид:

$$Q = -2\pi r D_G \frac{\partial A(r, t)}{\partial r} - 2\pi r v_G A(r, t), \quad (2)$$

$$dQ = -2\pi r dr D_G \frac{\partial^2 A(r, t)}{\partial r^2} - 2\pi dr D_G \frac{\partial A(r, t)}{\partial r} - 2\pi r v_G \frac{\partial A(r, t)}{\partial r} - 2\pi v_G A(r, t).$$

Знак минус в формулах (2) указывает на убывание поровой активности радона с увеличением радиуса r . Подставляя формулы (2) в уравнение (1), получим:

$$\frac{\partial A(r, t)}{\partial t} = D_G \left[\frac{\partial^2 A(r, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial A(r, t)}{\partial r} \right] + v_G \left[\frac{\partial A(r, t)}{\partial r} + \frac{1}{r} A(r, t) \right] - \lambda A(r, t) + \lambda A_\infty. \quad (3)$$

Здесь $A(r, t)$ - поровая активность радона, Бк/м³; $D_G = \eta D$ - истинный коэффициент диффузии радона, м²/с; D - кажущийся коэффициент диффузии, м²/с; η - коэффициент пористости грунта, отн. ед.; v_G - коэффициент переноса радона, м/с; λ - постоянная распада радона, 1/с; A_∞ - равновесная поровая активность радона, Бк/м³.

Уравнение (3) описывает нестационарную диффузию и адвекцию распределения поровой активности радона в цилиндрической скважине, а также в околоскважинном пространстве.

В случае только нестационарной диффузии ($v_G = 0$) уравнение (3) переходит в уравнение, рассмотренное в работе [4].

Краевые задачи. Приведем некоторые важные задачи в теории эманационного метода.

Задача 1. Горизонтальный цилиндрический слой бесконечной длины радиуса r_0 находится в однородной нерадиоактивной среде. Перенос радона осуществляется за счет стационарной диффузии и адвекции, т.е. $\frac{\partial A(r,t)}{\partial t} = 0$.

Краевые условия, удовлетворяющие этой задаче записываются следующим образом:

$$1) r \rightarrow \infty, A(r) = 0, 2) r = r_0, A(r) = A_\infty. \quad (4)$$

Из условий этой задачи в уравнении (3) надо положить $A_\infty = 0$. В итоге получим уравнение стационарной диффузии-адвекции или вырожденное гипергеометрическое уравнение:

$$D_G \left[\frac{d^2 A(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dA(r)}{dr} \right] + v_G \left[\frac{dA(r,t)}{dr} + \frac{1}{r} A(r,t) \right] - \lambda A(r,t) = 0. \quad (5)$$

Общее решение уравнения (5) можно записать через вырожденные гипергеометрические функции Куммера ${}_1F_1(a,b,x)$ и Трикоми $\Psi(a,b,x)$ [7]:

$$A(r) = \exp \left(-r \left[\sqrt{\lambda + v_G^2 / (4D_G)} + v_G / (4D_G) \right] \right) \times \left[C_1 {}_1F_1 \left(\frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2} - v_G}{2\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}, 1, r \frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}{D_G} \right) + C_2 \Psi \left(\frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2} - v_G}{2\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}, 1, r \frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}{D_G} \right) \right]. \quad (6)$$

С учетом в граничных условий (4) решение (6) принимает следующий вид:

$$A(r) = \frac{A_\infty \exp \left(-(r-r_0) \left[\sqrt{\lambda + v_G^2 / (4D_G)} + v_G / (4D_G) \right] \right) \Psi \left(\frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2} - v_G}{2\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}, 1, r \frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}{D_G} \right)}{\Psi \left(\frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2} - v_G}{2\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}, 1, r_0 \frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}{D_G} \right)}. \quad (7)$$

Задача 2. Выработка цилиндрической формы радиуса $r_0 \leq r$ пройдена в эманлирующем слое при условиях: источников внутри выработки нет ($A_\infty = 0$), перенос радона осуществляется за счет стационарной диффузии-адвекции, т.е. $\frac{\partial A(r,t)}{\partial t} = 0$.

Для этой задачи вводятся следующие краевые условия:

$$1) r = 0, A(r) - \text{конечная величина}, 2) r = r_0, A(r) = A_\infty. \quad (8)$$

С учетом условий (8) решение этой задачи можно записать так:

$$A(r) = \frac{A_\infty \exp \left(-(r-r_0) \left[\sqrt{\lambda + v_G^2 / (4D_G)} + v_G / (4D_G) \right] \right) {}_1F_1 \left(\frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2} - v_G}{2\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}, 1, r \frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}{D_G} \right)}{{}_1F_1 \left(\frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2} - v_G}{2\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}, 1, r_0 \frac{\sqrt{4D_G \lambda + v_G^2}}{D_G} \right)}, r_0 \leq r. \quad (9)$$

Задача 3. Из сухой цилиндрической выработки, вскрывающей эманлирующее тело, удалена эманация, после чего она поступает туда в результате диффузии из окружающей среды. Требуется найти распределение радона внутри выработки $r \leq r_0$.

Эта задача может быть записана так:

$$\frac{\partial A(r,t)}{\partial t} = D_G \left[\frac{\partial^2 A(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial A(r,t)}{\partial r} \right] + v_G \left[\frac{\partial A(r,t)}{\partial r} + \frac{1}{r} A(r,t) \right] - \lambda A(r,t). \quad (10)$$

с начальными и краевыми условиями:

$$1) r = r_0, A(r,t) = A_\infty; 2) r \rightarrow 0, A(r,t) - \text{конечная величина}; 3) t = 0, A(r,t) = 0, r \leq r_0. \quad (11)$$

Рассмотрим преобразование Лапласа по переменной t с учетом третьего условия (11) дает:

$$D_G \left[\frac{d^2 F(r,p)}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dF(r,p)}{dr} \right] + v_G \left[\frac{dF(r,p)}{dr} + \frac{1}{r} F(r,p) \right] - (\lambda + p) F(r,p) = 0. \quad (12)$$

Краевые условия при этом переписываются так:

$$1) r = r_0, F(r,p) = \frac{A_\infty}{p}; 2) r \rightarrow 0, F(r,p) - \text{конечная величина}, r \leq r_0. \quad (13)$$

Общее решение уравнения (12) можно записать так:

$$F(r,p) = C_1 \exp(-rc[\sqrt{p+a}+b]) {}_1F_1\left(\frac{1}{2}\left[1-\frac{b}{\sqrt{p+a}}\right], 1, rc\sqrt{p+a}\right) + \\ C_2 \exp(-rc[\sqrt{p+a}+b]) \Psi\left(\frac{1}{2}\left[1-\frac{b}{\sqrt{p+a}}\right], 1, rc\sqrt{p+a}\right), \quad (14) \\ a = \lambda + \frac{v_G^2}{4D_G}, \quad b = \frac{v_G}{2\sqrt{D_G}}, \quad c = \frac{1}{\sqrt{D_G}}.$$

Из второго условия (13) следует, что $C_2 = 0$. Первое условие (13) дает вторую константу:

$$C_1 = \frac{A_\infty}{p \exp(-r_0 c[\sqrt{p+a}+b]) {}_1F_1\left(\frac{1}{2}\left[1-\frac{b}{\sqrt{p+a}}\right], 1, r_0 c\sqrt{p+a}\right)}.$$

Поэтому решение (14) можно записать так:

$$F(r,p) = \frac{A_\infty \exp(-(r-r_0)c[\sqrt{p+a}+b]) {}_1F_1\left(\frac{1}{2}\left[1-\frac{b}{\sqrt{p+a}}\right], 1, rc\sqrt{p+a}\right)}{p {}_1F_1\left(\frac{1}{2}\left[1-\frac{b}{\sqrt{p+a}}\right], 1, r_0 c\sqrt{p+a}\right)}. \quad (15)$$

Известно, что функция Куммера имеет асимптотическое разложение [7]:

$${}_1F_1(a,b,z) = \frac{\Gamma(b)}{\Gamma(a)} e^z z^a, |z| \rightarrow \infty.$$

Соотношение (15) можно записать так:

$$F(r,p) = \frac{A_\infty \exp(-(r-r_0)cb) \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\frac{1}{2}\left[1-\frac{b}{\sqrt{p+a}}\right]}}{p}. \quad (16)$$

Оригинал по изображению (16) можно вычислить по формуле:

$$A(r,t) = \frac{A_\infty \exp(-cb(r-r_0))}{2\pi i} \sqrt{\frac{r}{r_0}} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} \frac{\exp(pt)}{p} \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-\frac{b}{\sqrt{p+a}}} dp. \quad (17)$$

Интеграл в (17) можно вычислить приближенно [8].

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ по Программе стратегического развития ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012-2016 гг.

Список литературы

1. Граммаков А.Г. Эманионный (радоновый) метод поисков, исследования и разведки радиоактивных объектов. Тр. ЦНИГРИ, 1934. – Вып. 7. – 115 с.
2. Граммаков А.Г., Никонов А.И., Тарфеев Г.П. Радиометрические методы поисков и разведки урановых руд. М.: Госгеолтехиздат, 1957. – 610 с.
3. Булашевич Ю.П. Нестационарные задачи диффузии частиц с ограниченным временем жизни. В кн. Ядерно-геофизические исследования. – Свердловск: Ин-т геофизики УрО РАН. 1975. – С. 42– 61.
4. Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка. Л.: Недра, 1989. - 407 с.
5. Рудаков В.П. Эманионный мониторинг геосред и процессов. М.: Научный мир, 2009 с. – 176 с.
6. Фирстов П.П. Мониторинг объемной активности подпочвенного радона ^{222}Rn на паратунской геотермальной системе в 1997–1998 гг. с целью поиска предвестников сильных землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 1999. – № 6. – С. 33–43.
7. Аски Р., Рой Р., Эндрюс Дж. Специальные функции. М.: МЦНМО, 2013. - 652 с.
8. Крылов В.И., Скобля И.С. Методы приближенного преобразования Фурье и обратного преобразования Лапласа. М.: Наука, 1974. - 223 с.

05.00.00

А.В. Пермяков, И.А. Евдокимов, Т.В. Вобликова

Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал)
ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет» в г. Пятигорске,
ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СЫВОРОТКИ В ТЕХНОЛОГИИ ЛАКТОЗЫ

В работе представлены результаты изучения возможности получения лактозы из соленой подсырной сыворотки с предварительной обработкой сырья мембранными методами.

Ключевые слова: *мембранные методы, деминерализация, сыворотка.*

Современные технологии лактозы базируются на глубокой очистке сиропов сыворотки и получения из нее продукта в кристаллической или аморфной форме. Объемы производства молочного сахара (лактозы) в России существенно снизились, и наступает дефицит продукта на рынке. Стоимость лактозы пищевой непрерывно растет. Некоторые эксперты и крупные трейдеры сухих молочных продуктов связывают это с дефицитом сырья для производства лактозы – с молочной сывороткой.

Не последнюю роль в организации производства лактозы играет аппаратурно-процессовое оформление технологии. В частности, многие процессы до настоящего времени являются периодическими, что не вписывается в современную динамику развития предприятий. Большие энергетические затраты также делают производство лактозы в России невыгодным. Однако, зарубежные производители на фоне бездействия наших переработчиков, начинают завоевывать российский рынок лактозы, в частности, пищевой кристаллической [1,4].

В данной статье мы не только рассмотрим применение мембранной технологии молочного сахара, которая наряду с меньшей энергоемкостью производства позволяет добиться более глубокой очистки сыворотки от несхаров и получать высококачественную лактозу, но и использовать для этого не совсем традиционное сырье – соленую подсырную сыворотку, образующуюся в результате использования рядом предприятий сыродельной отрасли технологической операции частичной посолки сыра в зерне.

Соленая подсырная сыворотка создает проблемы переработки и утилизации вторичного сырья и практически сливается в канализацию. Это, в первую очередь, связано с тем, что в соленой сыворотке повышенное содержание хлористого натрия (до 3,0 %), хотя основным компонентом является лактоза, содержание которой составляет до 80 % по сухим веществам.

Переработка соленой сыворотки проигрывает в экономическом плане аналогичным процессам переработки других видов молочной сыворотки. Вместе с тем, дополнительные затраты на переработку соленой сыворотки не являются критическими – они составляют всего 10% от тех экономических предпочтений, которые сырзаводы получают, применяя частичную посолку сыра в зерне. Немаловажно также то, что угрозы штрафных санкций для сырзаводов, производящих соленую сыворотку и не утруждающих себя ее переработкой, возрастают многократно [5].

Из существующих мембранных методов разделения наиболее перспективным применительно к соленой сыворотке можно считать электродиализ. Этот метод позволяет не только эффективно удалять деионизированные минеральные соли из их концентрированных растворов, но параллельно извлекать из них и низкомолекулярные органические ионы. Применяемые в настоящее время для этой цели сорбционные методы очистки приводят к значительному удорожанию целевого продукта [3].

В предлагаемой нами технологии переработки соленой сыворотки на молочный сахар, предварительная обработка электродиализом обеспечит не только ее обессоливание до необходимого уровня, но и позволит удалить из нее значительную часть низкомолекулярных органических соединений, что окажет положительное влияние, как на тепловую коагуляцию сывороточных белков, так и на последующий процесс кристаллизации и выделения кристаллов лактозы.

Полученные в лабораторных условиях результаты свидетельствуют о высокой эффективности технологии молочного сахара из соленой сыворотки при её предварительной обработке электродиализом. При этом важно, что хотя на заключительной стадии исследований использовались лишь традиционные технологические операции, в экспериментах были получены образцы молочного сахара гораздо более высоких кондиций. Этот факт как раз и объясняется тем, что процесс электродиализного обессоливания соленой сыворотки сопровождается сопряженным эффектом её очистки от органических нес сахаров. Следовательно, в технологическом плане электродиализ, являясь прямым методом обессоливания, одновременно выступает и, как своего рода, электросорбционный метод очистки сыворотки от части органических примесей.

Как было установлено в наших экспериментах, степень выделения из сыворотки органических соединений повышается с увеличением уровня деминерализации. Отсюда следует, что уровень деминерализации является важным параметром, от значения которого будет зависеть качество молочного сахара. Этот параметр легко регулируется в автоматическом режиме и легко контролируется электроизмерительными приборами.

Учитывая выявленные особенности электродиализного обессоливания соленой сыворотки, целесообразно при разработке технологии получения из неё молочного сахара, использовать наиболее простую и широко используемую в отечественной молочной отрасли технологическую схему производства молочного сахара-сырца из несоленой подсырной сыворотки.

В этом случае совокупность технологических операций, включая электродиализ, будет иметь следующую последовательность: сепарирование для отделения частиц жира и казеиновой пыли, деминерализация электродиализом при 18-20°C до зольности 0,2-1,2%, осветление, сгущение при температуре 60-70°C до содержания сухих веществ в сиропе 62-64%, кристаллизация лактозы в течение 35-37 часов при охлаждении до 8-10°C, выделение и сушка влажных кристаллов лактозы. В результате получают молочный сахар с доброкачественностью до 96,6%. Общая длительность процесса составляет до 70 часов.

Представленная последовательность технологических операций, за исключением деминерализации, полностью отражает технологию молочного сахара-сырца, получаемого из подсырной сыворотки.

При проведении дальнейших исследований, нами был предложен и запатентован способ производства молочного сахара [6], отличающийся от рассмотренного выше тем, что процесс деминерализации сыворотки проводят в две стадии. Способ осуществляют следующим образом. Соленую сыворотку нагревают до температуры 35-40°C, сепарируют при этой температуре для отделения частиц жира и казеиновой пыли и проводят процесс деминерализации в две стадии. На первой стадии сыворотку подают в нанофильтрационную установку и проводят процесс нанофильтрации при давлении 2,0-2,5 МПа до достижения степени деминерализации 20-25% и содержания сухих веществ 18-20%. При этом удаляется 75-80% одновалентных ионов калия и натрия. Концентрированную сыворотку направляют на вторую стадию деминерализации путем электродиализа до достижения зольности 0,5-0,6%. Деминерализованную сыворотку освещают термокислотной коагуляцией с подкислением до pH 4,4-4,6, выдержкой при температуре 90-95°C и отделением белков при этой температуре, охлаждают и сгущают при температуре 55-60°C до содержания сухих веществ 60-65%. В полученном сиропе проводят кристаллизацию лактозы на протяжении 20-22 часов с охлаждением до 8-10°C, образовавшиеся кристаллы отделяют центрифугированием при этой температуре и сушат при 120-140°C. Получают молочный сахар с доброкачественностью 95-

97%. Общая длительность процесса составляет до 35 часов, что в два раза меньше рассмотренного ранее способа.

Применение электродиализа в разработанной технологии позволяет использовать любой вид молочной сыворотки, в т.ч. и кислую, что открывает широкие возможности по ее дальнейшему использованию.

По нашему мнению, предприятиям молочной отрасли, имеющим достаточно большие объемы молочной сыворотки (от 100 т/сутки) следовало бы обратить внимание на получение лактозы пищевой, для которой имеется более широкий круг потребителей. Мы предлагаем как традиционные технологии, основанные на перекристаллизации лактозы из пересыщенных сиропов, так и инновационные, которые базируются на мембранных методах обработки. Инновационные технологии лактозы позволяют увеличить выход готового продукта в 1,4 раза и исключить потери до минимума. Возможна и альтернативная технология получения глубокоочищенного деминерализованного пермеата сыворотки для кондитерской и пищевой промышленности [2].

Список литературы

1. Евдокимов И.А. Аспекты переработки подсырной соленой сыворотки / И.А. Евдокимов, А.В. Пермяков, Н.Я. Дыкало // – Переработка молока – №2(124). – Москва, 2010. – С.28-29.
2. Евдокимов И.А. Деминерализованный пермеат как альтернатива молочному сахару/ И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, В.К. Топалов, В.А. Михнева // – Молочная промышленность – №2. – Москва, 2013. – С.38.
3. Евдокимов И.А. Электродиализ молочной сыворотки (монография) / И.А. Евдокимов, А.В. Пермяков, Н.Я. Дыкало // – Георгиевск: ГТИ (филиал) СевКавГТУ, 2009. – 248 с.
4. Пермяков А.В. Разработка технологии молочного сахара из соленой сыворотки [Текст]: дис. канд. техн. наук. / А.В. Пермяков // – Ставрополь, 2007. – 127 с.
5. Пермяков А.В. Альтернативные способы переработки подсырной сыворотки / А.В.Пермяков // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства». – Ставрополь: АГРУС, 2013.– С. 160-163.
6. Способ производства молочного сахара из соленой сыворотки / патент на изобретение №2360006 / И.А. Евдокимов, Н.Я. Дыкало, А.В. Пермяков, Е.Р. Смирнов // – 2009.

05.14.03

**А.П. Пустовгар, П.А. Лавданский, А.В. Журавлев, А.В. Есенов,
В.В. Медведев, А.Д. Веденин**

Московский государственный строительный университет,
НИИ строительных материалов и технологий, Москва, advedenin@yandex.ru

ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА СЕРПЕНТИНИТОВОГО БЕТОНА

В статье рассмотрено тепловыделение гидратации цемента серпентинитового бетона, используемого при производстве «сухой» защиты ядерных реакторов АЭС, в условиях добавления в цемент воздушной негашеной извести и суперпластификатора на основе поликарбоксилата.

Ключевые слова: *серпентинитовый бетон, «сухая защита» ядерного реактора, гидратация цемента, тепловыделение.*

Важнейшей задачей развития атомной энергетики, эффективное решение которых определяет само ее существование, является повышение радиационной безопасности персонала АЭС и окружающей среды. Безопасность персонала АЭС с реакторами водяного охлаждения обеспечивает «сухая» радиационно-тепловая защита (СЗ), которая представляет собой самонесущую цилиндрическую конструкцию с металлически армированными стенками, заполненными радиационно-защитным серпентинитовым бетоном [6,13]. Одним из недостатков существующей технологии изготовления «сухой» защиты является необходимость проведения термообработки бетона для удаления несвязанной воды, что сопровождается большими энергетическими и временными затратами, а также с риском ухудшения прочностных свойств СЗ.

Снизить количество воды затворения бетонной смеси, а также увеличить долю химически связанной воды, не ухудшая прочностных и защитных свойств СЗ можно при использовании различных методов, таких как: подбор оптимальной дисперсности минеральных наполнителей [7,10], активация воды затворения воздействием электрического тока и магнитного поля [3], механоактивация вяжущего и минеральных наполнителей [8], применение пластифицирующих и других модифицирующих добавок [2,4,5,9].

Одним из новых перспективных методов снижения затрат на строительство и термообработку СЗ может стать использование собственного тепловыделения бетона, возникающего в процессе его твердения под воздействием экзотермического эффекта гидратации цемента [1], исследования которого проведены в НИИ СМиТ МГСУ [11,12].

Разработка новых технологий с применением в составе серпентинитового бетона модификатора на основе эфиров поликарбоксилатов и воздушной извести приведут к получению сухого бетона без применения термической сушки и повышению подвижности бетонной смеси, что значительно упростит технологию изготовления сухой защиты, уменьшит продолжительность изготовления защиты реакторов, трудозатраты и повысит эффективность качества укладки бетона, выраженное в уменьшении количества дефектов в виде каверн и пустот.

Эксперименты наглядно отражают возможность регулирования интенсивности тепловыделения бетона за счет введения в его состав минеральных добавок.

Исследование влияние извести на саморазогрев бетона проводился на образцах бетона, рецептура которых представлена в таблице 1, а графики зависимости температуры бетонных растворов от времени - на рис. 1.

Таблица 1. Рецептуры исследуемых образцов

Компоненты образцов бетона	Образцы				
	1	2	3	4	5
Цемент	376	316	286	316	286
Известь	0	60	90	60	90
Щебень 20-40	467	467	467	467	467
Щебень 5-20	623	623	623	623	623
Галь	664	664	664	664	664
Вода	221	185	165	185	165
Лимонная кислота	0	0	0	0,632	0,858
Поликарбоксилат	0	0,52	0,78	0,52	0,78

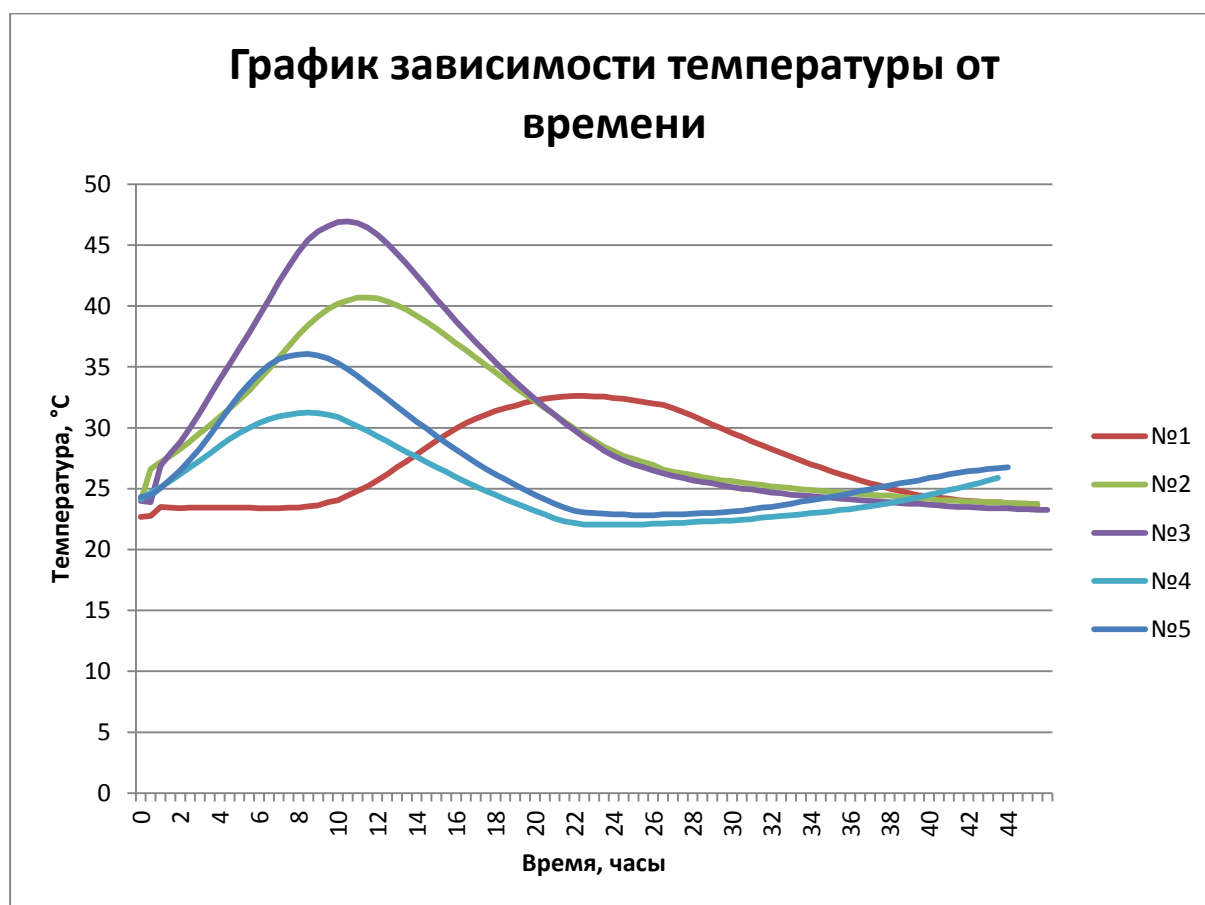


Рис. 1. Графики зависимости температуры бетона от времени

По результатам проведенного исследования установлено, что при введении негашеной извести суммарная тепловая энергия образцов увеличивается, особенно в начальный период времени. Следствием роста тепловой энергии является повышение температуры бетона. В бетонной смеси, содержащей негашеную известь, на первой стадии, при контакте с водой в раствор переходят кальций- и гидроксил- ионы и происходит сначала скачок скорости тепловыделения, а затем ее падение в течение 15–20 мин. Далее идет процесс формирования цементного теста. В это время цементное тесто сохраняет свою пластичность и удобоукладываемость. На эти стадии можно воздействовать с помощью добавок, оказывающих влияние на гидратацию цемента. После того как будет достигнута определенная критическая концентрация кальций- и гидроксил-ионов, начинается быстрая

гидратация с образованием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и C-S-H (третья стадия). Далее скорость тепловыделения постепенно уменьшается.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает возможность использования минеральных добавок для регулирования тепловыделения реакции гидратации портландцемента в составе серпентинитового бетона «сухой защиты» реактора АЭС с целью удаления остаточного содержания химически несвязанной воды.

Список литературы

1. Адамцевич А.О., Пашкевич С.А., Пустовгар А.П. Использование калориметрии для прогнозирования роста прочности цементных систем ускоренного твердения // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №3(38). – с. 36–42.
2. Адамцевич А.О., Пустовгар А.П., Еремин А.В., Пашкевич С.А. Влияние формиата кальция на гидратацию цемента с учетом фазового состава и температурного режима твердения // Строительные материалы. – 2013. – №7. – с. 59–62.
3. Ерофеев В.Т., Фомичев В.Т., Емельянов Д.В., Родин А.И., Еремин А.В. Влияние активированной воды затворения на структурообразование цементных паст // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. – 2013. – Вып. 30(49). – с. 179–183.
4. Ефимов П.А., Пустовгар А.П., Соловьева И.А. Способ изготовления модифицирующих добавок // Патент России № 2211205, 28.03.2002.
5. Ефимов П.А., Пустовгар А.П., Соловьева И.А., Фомин С.В. Сухая растворная смесь // Патент России № 2204540, 29.12.2001.
6. Жолдак Г.И., Пергаменичик Б.К., Лавданский П.А., Есенов А.В. Сухая защита реактора ВВЭР-1000 // Вестник МГСУ. – 2011. – № 8. – с. 316–319.
7. Маева И.С., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П. Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // Строительные материалы. – 2009. – № 6. с. 4–5.
8. Пустовгар А.П. Эффективность применения активированного диатомита в сухих строительных смесях // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – с. 62–65.
9. Пустовгар А.П., Бурьянов А.Ф., Василик П.Г. Особенности применения гиперпластификаторов в сухих строительных смесях // Строительные материалы. – 2010. – № 12. – с. 62.
10. Пустовгар А.П., Веденин А.Д. Теплоизоляционные нанокompозиты на основе аэрогеля кремнезема // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №1. – с. 252–254.
11. Пустовгар А.П., Лавданский П.А., Есенов А.В., Адамцевич А.О., Веденин А.Д. Анализ тепловыделения гидратации цемента в серпентинитовом бетоне // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №4. – с. 179–181.
12. Пустовгар А.П., Лавданский П.А., Есенов А.В., Медведев В.В., Еремин А. В., Веденин А.Д. Влияние суперпластификаторов и оксида кальция на гидратацию цемента в серпентинитовом бетоне // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. Политематическая. – 2014. – Вып. 2(33). Ст. 10. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
13. Теличенко В.И., Сборщиков С.Б., Пустовгар А.П. Инновационный менеджмент в строительстве // Учебник. – 2008. – 208 с.

05.13.11

А.М. Пушкин

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
факультет информатики, кафедра прикладной математики и механики,
Москва, anton.pushkin.89@gmail.com

МОДЕЛЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ ПРОЦЕССОРОМ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВОЗВРАТОВ

Вводится модель обслуживания расположенных в одномерной рабочей зоне стационарных объектов перемещающимся процессором при выполнении им рейса между крайними точками зоны. Возможны определенным образом ограниченные возвраты процессора к ранее оставленным не обслуженным объектам. Для каждого объекта указаны: ранний срок начала его обслуживания, требуемая продолжительность обслуживания и функция индивидуального штрафа. Формулируется задача синтеза оптимальной стратегии функционирования процессора, излагается алгоритм решения, приводится иллюстрирующий пример.

Ключевые слова: *теория расписаний, перемещающийся процессор, стационарные объекты, стратегия обслуживания, динамическое программирование.*

Введение

Рассматриваемая модель предназначена для описания систем, в которых перемещающийся процессор должен обслужить совокупность стационарных объектов, линейно рассредоточенных по пунктам одномерной рабочей зоны. Считается, что процессор выполняет однократный рейс из начального пункта в конечный, в процессе которого допускаются возвраты на один пункт назад. С каждым объектом ассоциированы сроки начала обслуживания время обслуживания и индивидуальный штраф, являющийся монотонно возрастающей функцией от момента завершения обслуживания объекта. В качестве минимизируемого критерия выступает величина суммарного штрафа по всем объектам.

Отличие от моделей, изученных в [1,2], заключается в допущении только одного рейса и в возможности отложить обслуживание процессором того либо иного объекта, вернувшись к нему позже.

Математическая модель и постановка задачи

Считается заданной совокупность $O_n = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ стационарных объектов, расположенных соответственно в точках $1, 2, \dots, n$ одномерной рабочей зоны L обслуживающего процессора P . Указанная зона конечна, её начальная точка A является базой для процессора. Объекты пронумерованы в порядке возрастания их расстояний от точки A . Конечная точка B зоны L является местом расположения объекта o_n .

Примем обозначения: ρ_j – ранний срок, до которого обслуживание объекта o_j либо невозможно, либо не имеет смысла; τ_j – требуемая продолжительность обслуживания процессором P объекта o_j ; $\varphi_j(t)$ – монотонно возрастающая в нестрогом смысле функция индивидуального штрафа, выражающая зависящую от момента завершения обслуживания o_j величину потерь; $\gamma_{j-1,j}$ и $\gamma_{j,j-1}$ – затраты времени на перемещения процессора от точки $j-1$ до точки j и от точки j до точки $j-1$ соответственно; при этом $\gamma_{0,1}$ – затраты времени на перемещение процессора между точкой A и точкой 1. Все числа ρ_j , τ_j , $\gamma_{j-1,j}$ и $\gamma_{j,j-1}$ считаем целыми положительными.

Из точки A в момент времени $t=0$ процессор начинает движение к точке B . При реализации рейса AB процессор выполняет однократное без прерываний обслуживание каждого объекта группы O_n . При необходимости процессор может перенести обслуживание произвольного объекта o_j на более поздний срок, назначая его непосредственно после обслуживания объекта o_{j+1} , т.е. разрешаются возвраты не далее одного пункта назад. Не связанные с обслуживанием объектов промежуточные простои процессора запрещены.

Стратегией именуем допустимую последовательность $\rho = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ индексов объектов, определяющую порядок их обслуживания. Согласно вышеотмеченному, условие допустимости записывается следующим образом: $|i_k - k| \leq 1, k = \overline{1, n}$.

В качестве примера отметим, что последовательность $\rho_1 = (1, 2, 3, 5, 4, 6)$ допустима, тогда как последовательность $\rho_2 = (1, 2, 6, 3, 5, 4)$ допустимой не является.

Любая стратегия однозначно определяет моменты завершения обслуживания каждого из объектов o_j , обозначим эти моменты $C_j(\rho)$. С позиций повышения эффективности управления обслуживанием целесообразно рассмотрение следующей оптимизационной задачи:

$$\min_{\rho} \left\{ \sum_{j=1}^n \varphi_j(C_j(\rho)) \right\}. \quad (1)$$

Алгоритм решения

Алгоритм основан на принципе динамического программирования. Задачу (1) обозначим символом Z . Через B обозначим искомое в этой задаче оптимальное значение критерия.

Введём совокупность частных задач $Z(t, i)$. В каждой задаче $Z(t, i)$ рассматривается только множество объектов с индексами от 1 по i ; по состоянию на момент времени t процессор должен после выполнения их обслуживания (с допустимыми возвратами или без таковых) находиться в точке i . В этих условиях требуется минимизировать величину суммарного штрафа по всем объектам рассматриваемого множества. Пары (t, i) далее будем называть состояниями системы обслуживания. Введем функцию Беллмана: через $B(t, i)$ обозначим оптимальное значение критерия в задаче $Z(t, i)$.

В рассматриваемой модели допускается возврат процессора на один пункт назад. Поэтому для состояния (t, i) существует два варианта:

- 1) процессор перемещается в точку $i+1$ и далее обслуживает объект o_{i+1} ;
- 2) процессор последовательно: а) перемещается в точку $i+2$, где обслуживает объект o_{i+2} ; б) перемещается в точку $i+1$, где обслуживает объект o_{i+1} ; в) перемещается в точку $i+2$.

Для процессора, выполнившего обслуживание всех объектов, кроме последнего, и находящегося в точке $(n-1)$ возможно только перемещение в точку n с дальнейшим обслуживанием объекта o_n .

Опишем процесс последовательного, в порядке увеличения значений аргументов и подсчета значений функции Беллмана. Процесс будет поддерживаться с помощью массива M , в котором указываются тройки $\{t, i, B(t, i)\}$, а также путь, который приводит систему в состояние (t, i) при суммарном штрафе $B(t, i)$. Назовем состояние (t, i) из M эффективным, если при одинаковом параметре i для пары $(t, B(t, i))$ не найдется другой пары $(t', B'(t', i))$ в

M такой, что $t' \leq t$ и $B'(t', i) \leq B(t, i)$, причем, по меньшей мере, одно из записанных неравенств выполняется как строгое неравенство.

В пошаговом режиме алгоритм решения задачи (1) функционирует следующим образом.

1) Полагается начальным состояние системы $(t, i) = (0, 0)$. Это состояние добавляется в массив M и выбирается для дальнейшего раскрытия.

2) Раскрывается выбранное состояние системы (t, i) , т.е. вводятся новые состояния системы и вычисляются их значения критерия. Для $i, i = \overline{0, n-2}$:

– $(t_1, i+1)$, для которого $B(t_1, i+1) = B(t, i) + \varphi_{i+1}(t_1)$;

– $(t_3, i+2)$, для которого $B(t_3, i+2) = B(t, i) + \varphi_{i+2}(t_2) + \varphi_{i+1}(t_3)$,

где $t_1 = \max(t + \gamma_{i,i+1}, \rho_{i+1}) + \tau_{i+1}$ – время, которое необходимо процессору для перемещения и обслуживания объекта o_{i+1} ;

$t_2 = \max(t + \gamma_{i,i+1} + \gamma_{i+1,i+2}, \rho_{i+2}) + \tau_{i+2}$ – время, которое процессору необходимо для перемещения и обслуживания объекта o_{i+2} , минуя объект o_{i+1} ;

$t_3 = \max(t_2 + \gamma_{i+2,i+1}, \rho_{i+1}) + \tau_{i+1} + \gamma_{i+1,i+2}$ – время, которое необходимо процессору, чтобы вернуться с объекта o_{i+2} и обслужить объект o_{i+1} , а затем вернуться обратно к объекту o_{i+2} .

Для $i = n-1$ вводится только $(t_1, i+1)$.

3) Теперь состояние (t, i) считается раскрытым и изымается из массива M . Полученные новые состояния системы добавляются в массив M . Среди состояний массива M выделяются эффективные. Неэффективные состояния из массива M изымаются.

4) Для каждого нового эффективного состояния системы в массиве M дополняется проделанный путь. Для $(t_1, i+1)$ путь пополняется переходом в точку $i+1$. Для $(t_3, i+2)$ – двумя переходами, сначала в точку $i+2$, потом – в точку $i+1$.

5) Из эффективного массива M выбирается состояние системы с минимальным параметром i . Если таких состояний несколько, то выбирается состояние с наименьшим параметром t . Если в некотором состоянии $i = n$, то оно считается финальным и далее не рассматривается.

6) Для выбранного состояния повторяются шаги 2-6. Если выбрать новое состояние не удастся (все состояния в массиве M считаются финальными), то алгоритм прекращает свою работу.

После работы алгоритма в массиве M останется несколько финальных эффективных состояний системы. Выбор среди них осуществляет ЛПР (лицо, принимающее решения). В соответствии с выбранным состоянием выбирается соответствующая стратегия обслуживания.

Пример. Требуется решить задачу (1) с нижеследующими данными.

Таблица 1 – Начальные данные

i	ρ_i	τ_i	$\gamma_{i-1,i}$	$\gamma_{i,i-1}$	$\varphi_i(t)$
1	50	6	5	5	$0 \cdot t$
2	50	9	7	7	$10 \cdot t$
3	50	2	6	6	$0 \cdot t$
4	90	4	8	8	$3 \cdot t$

Для удобства решения задачи массив M представляем в виде таблицы. Согласно пункту 1 решающего алгоритма полагаем начальным состоянием системы $(t, i) = (0, 0)$ и заносим его в таблицу.

Таблица 2 – Массив M , итерация 1

t	i	$B(t,i)$	ρ
0	0	0	–

В таблице имеется единственное состояние системы. Согласно пункту 2 раскрываем его. Считаем ключевые моменты времени: $t_1 = \max(0+5, 50) + 6 = 56$, $t_2 = \max(0+5+7, 50) + 9 = 59$, $t_3 = \max(59+7, 50) + 6 + 7 = 79$, вводим новые состояния системы: $(56,1)$ и $(79,2)$; вычисляем соответствующие критерии: $B(56,1) = 0+0=0$, $B(79,2) = 0+590+0=590$. Согласно пункту 3 состояние $(0,0)$ теперь считаем раскрытым, изымаем его из таблицы. Новые состояния добавляем в таблицу. Теперь среди всех состояний, размещенных в таблице, выделяем эффективные, и, согласно пункту 4, для всех эффективных дополняем путь.

Таблица 3 – Массив M , итерация 2

t	i	$B(t,i)$	ρ
56	1	0	(1)
79	2	590	(2,1)

Согласно пункту 5 выбираем следующее для раскрытия состояние, в данном случае это $(56,1)$, и, согласно пункту 6, повторяем цикл решения: $t_1 = \max(56+7, 50) + 9 = 72$, $t_2 = \max(56+7+6, 50) + 2 = 71$, $t_3 = \max(71+6, 50) + 9 + 6 = 92$, $B(72,2) = 0+720=720$, $B(92,3) = 0+0+920=920$.

Таблица 4 – Массив M , итерация 3

t	i	$B(t,i)$	ρ
79	2	590	(2,1)
72	2	720	(1,2)
92	3	920	(1,3,2)

Выбираем для раскрытия $(72,2)$: $t_1 = \max(72+6, 50) + 2 = 80$, $t_2 = \max(72+6+8, 90) + 4 = 94$, $t_3 = \max(94+8, 50) + 2 + 8 = 112$, $B(80,3) = 720+0=720$, $B(112,4) = 720+282+0=1002$.

Таблица 5 – Массив M , итерация 4

t	i	$B(t,i)$	ρ
79	2	590	(2,1)
80	3	720	(1,2,3)
112	4	1002	(1,2,4,3)

Отметим, что состояние $(92,3)$ после добавления новых состояний стало неэффективным, и поэтому было изъято из таблицы. Следующим выбираем $(79,2)$: $t_1 = \max(79+6, 50) + 2 = 87$, $t_2 = \max(79+6+8, 90) + 4 = 97$, $t_3 = \max(97+8, 50) + 2 + 8 = 115$, $B(87,3) = 590+0=590$, $B(115,4) = 590+291+0=881$.

Таблица 6 – Массив M , итерация 5

t	i	$B(t,i)$	ρ
80	3	720	(1,2,3)
112	4	1002	(1,2,4,3)
87	3	590	(2,1,3)
115	4	881	(2,1,4,3)

Теперь рассмотрим $(80,3)$: $t_1 = \max(80+8, 90)+4=94$, $B(94,4)=720+282=1002$.

Таблица 7 – Массив M , итерация 6

t	i	$B(t,i)$	ρ
87	3	590	(2,1,3)
115	4	881	(2,1,4,3)
94	4	1002	(1,2,3,4)

На данной итерации состояние $(112,4)$ оказалось неэффективным. Теперь раскрываем состояние $(87,3)$: $t_1 = \max(87+8, 90)+4=99$, $B(99,4)=590+297=887$.

Таблица 8 – Массив M , итерация 7

t	i	$B(t,i)$	ρ
115	4	881	(2,1,4,3)
94	4	1002	(1,2,3,4)
99	4	887	(2,1,3,4)

Здесь процесс решения заканчивается – все состояния системы в таблице имеют финальный статус ($i=n$). В результате мы имеем три эффективных состояния и для каждого из них построена стратегия обслуживания.

Данный алгоритм решения легко модифицируется на случай, когда процессору разрешено возвращаться на k пунктов назад.

Заключение

В работе описана модель одностадийного обслуживания группы стационарных объектов, расположенных вдоль одномерной рабочей зоны перемещающегося процессора. Сформулирована задача оптимизации с практически значимым критерием и предложен алгоритм синтеза оптимальных стратегий обслуживания.

Разработанный алгоритм решения задачи (1) был реализован программно на языке программирования высокого уровня C++ и экспериментально исследован для практически значимых величин. Выполненные расчеты продемонстрировали отличное для практического применения быстродействие. Так, например, для задачи размерности $n=50$ время вычислений составляет в среднем 7 мс. Расчеты проводились на персональном компьютере (процессор Intel® Core™ i7 4.20 GHz, оперативная память 8 Gb).

Список литературы

1. Коган Д.И., Федосенко Ю.С. Задачи синтеза оптимальных стратегий обслуживания стационарных объектов в одномерной рабочей зоне процессора // Автоматика и телемеханика. – 2010. – №10. – С. 50-62.
2. Коган Д.И., Федосенко Ю.С., Дуничкина Н.А. Бикритериальные задачи обслуживания стационарных объектов в одномерной рабочей зоне процессора // Автоматика и телемеханика. – 2012. – №10. – С. 93-110.

05.21.05

С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, М.В. Лукин, А.В. Лукина, А.С. Грибанов

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Архитектурно-строительный факультет, кафедра Строительных конструкций, г. Владимир, rsi3@mail.ru

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕСТРУКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ОПОРНЫХ ЗОН ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК ПУТЕМ ПРОПИТКИ ПОЛИМЕРНЫМ РАСТВОРОМ

В статье изложен способ восстановления и усиления путем инъектирования высокоподвижных твердеющих растворов в тело поврежденных элементов деревянных конструкций. Представлен оптимальный пропитывающий состав на основе эпоксидной матрицы. Определены прочностные показатели усиленных элементов и предложена технология их усиления.

Ключевые слова: высокоподвижные твердеющие растворы, полимерная композиция, усиление опорных зон деревянных элементов, технологический процесс восстановления работоспособности древесины.

При усилении, восстановлении и реставрации встречаются случаи, когда большая часть деревянной конструкции или элемента находится в удовлетворительном состоянии и лишь отдельные их части имеют повреждения (опорные части балок, ослабленные биоповреждениями, трещины, переломы и проч.). В этих случаях нецелесообразно заменять всю конструкцию. Достаточно восстановить работоспособность только дефектной части.

Опорные части деревянных балок перекрытий находятся в изменяющихся условиях температурно – влажностного режима, и поэтому они разрушаются быстрее, чем другие ее части. Выделим три основные группы факторов, поражающих древесину:

- климатические (УФ — излучение, влажность, ветровые нагрузки, кислород воздуха);
- биологические (грибные поражения, поражения насекомыми, бактериями, водорослями);
- огневые.

На сегодняшний день для усиления несущих деревянных конструкций, имеющих дефекты или обладающих недостаточной несущей способностью и недопустимой деформативностью, за рубежом и в нашей стране используются различные строительные материалы.

Металл традиционно используется для усиления деревянных конструкций, содержащих те или иные дефекты. Один из самых распространенных способов усиления приопорных зон состоит в том, что дефектный участок деревянной конструкции или ее элемента заменяется протезом, изготовленным из стали. Усиление возможно также за счет применения железобетона, однако существенным недостатком усиления является значительное увеличение собственного веса конструкции. Для усиления деревянных конструкций и их элементов успешно используется древесина, а также листовые и плитные материалы на основе древесины.

В последние годы полимеры находят широкое использование при ремонте деревянных конструкций, как в России, так и за рубежом. Использование полимеров является перспективным направлением в области ремонта деревянных строительных конструкций.

С появлением высокопрочных синтетических клеев появилась возможность восстанавливать и усиливать несущие деревянные строительные конструкции, испытывающие статические, динамические и прочие нагрузки. Такие клеи обеспечивают достаточную термо-, огне- и морозостойкость усиливаемых элементов, а также устойчивость под действием влаги, кислот, грибков и т.п. Обеспечивая ценный комплекс конструкционных и эксплуатационных свойств, клеи в то же время позволяют значительно улучшить и технико-экономические показатели, а также снизить трудоемкость.

Восстановить прочность древесины, ослабленной биоповреждениями на сжатие и сдвиг можно пропиткой высокоподвижными твердеющими растворами. Восстановление несущей

способности может быть достигнуто различными способами, в частности пропиткой, при которой используются различные полимеры.

Предлагаемый метод усиления опорных зон деревянных балочных элементов, заключающийся в пропитке древесины, ослабленной биоповреждениями представлен на рис.1.

Пропитка предполагает инъецирование в древесину, ослабленную биоповреждениями, клеевых составов под давлением. Для дополнительной «аварийной» связи усиливаемой части со «здоровой» (неповрежденной гнилью) древесиной балки устанавливаются наклонно вклеенные арматурные стержни.

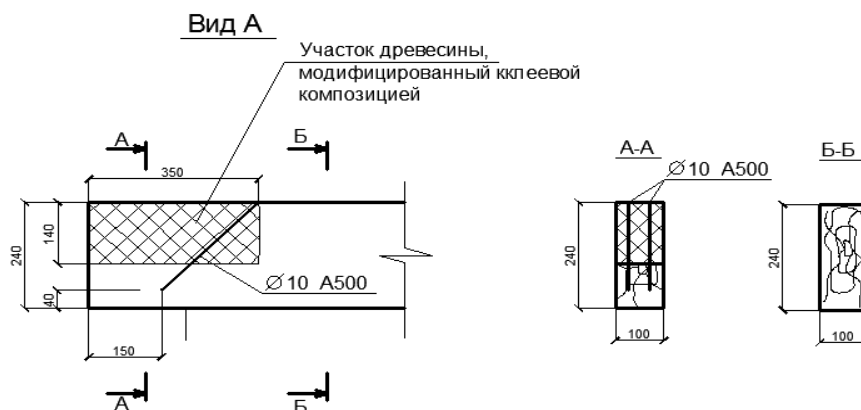


Рис. 1- Предлагаемый метод усиления и восстановления деревянной балки, ослабленной биоповреждениями

В качестве клеевого состава рекомендуется использовать составы на основе отвержденных эпоксидных смол, которые обладают ценными эксплуатационными свойствами и высокими физико-механическими показателями: высокая прочность, хорошая адгезия к различным материалам, высокая стойкость к действию агрессивных сред и т.п. Изделия, изготовленные из них, бензо-, масло- и водостойкие.

Эпоксидная смола ЭД-20 – двухкомпонентная смола. Для её отверждения требуются отвердители типа ПЭПА (полиэтиленполиамин). Процесс отверждения этих смол может происходить при температуре воздуха до 20 °С. Отвержденные эпоксидные смолы обладают ценными технологическими свойствами и высокими физико-механическими показателями. Отверждение происходит с минимальной усадкой без выделения побочных продуктов. Полимерный состав обладает высокой адгезией к большому числу материалов.

Однако не рекомендуется использовать составы, содержащие только эпоксидную смолу и отвердитель, так как в большинстве случаев получаются весьма жесткие материалы подверженные трещинообразованию. Кроме того, к отрицательным характеристикам можно отнести: малоэластичность и высокую вязкость.

Для понижения вязкости смолы добавляют к ней разбавитель. В качестве разбавителя предполагается использовать ацетон. Существенно улучшает механические свойства полимеров – пластификация. Пластификаторы снижают хрупкость, увеличивают гибкость, эластичность и относительное удлинение, а также повышают морозостойкость материала. В качестве пластификатора предполагается использовать дибутилфталат.

В результате проведения испытаний серии образцов полимерных композиций на сжатие, адгезию и поперечный изгиб был получен оптимальный четырехкомпонентный пропитывающий состав: эпоксидная смола (ЭД-20), отвердитель (ПЭПА), пластификатор (дибутилфталат и разбавитель (ацетон)). При соблюдении определённой технологии данный состав позволяет максимально заполнить капиллярно-пористое пространство древесины, ослабленной биоповреждениями, повышая ее эксплуатационные свойства.

Технологический процесс восстановления работоспособности древесины, ослабленной биоповреждениями включает в себя следующие этапы: подготовительный, основной и заключительный. Готовый раствор инъецируется в древесину при температуре 20-30 °С.

Для повышения технологичности работ поверхность балки разбивают на захваты (рис.2), где размечаются места сверления отверстий. Для пропитки древесины полимерами используют способы пропитки под давлением.

Инъектирование в тело балки, ослабленной биоповреждениями, следует производить механизированным способом при помощи специальных иньекторов, обеспечивающих равномерное впитывание требуемого количества полимерной композиции.

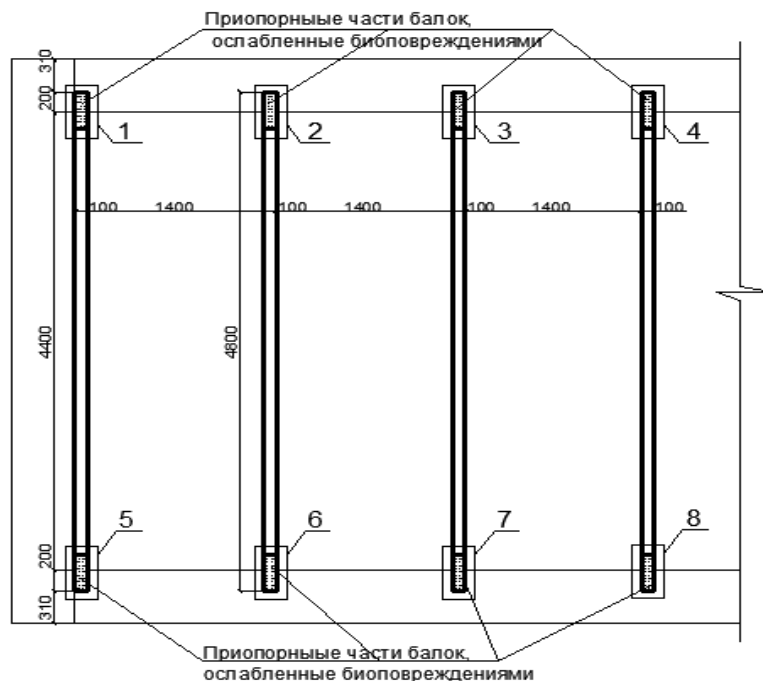


Рис. 2- Очередность захваток при усилении балок, ослабленных биоповреждениями (1-8 – номер захватки)

Перед началом работ рекомендуется произвести пробную инъекцию полимерной композиции в балку с целью уточнения расхода раствора, радиуса его распространения и режима обработки.

Шаг сверления назначается из условия радиуса проникновения укрепляющей полимерной композиции от центра отверстия в древесину. Иньекторы в плане располагаются рядами в шахматном порядке. Схема расположения отверстий представлена на рис.3.

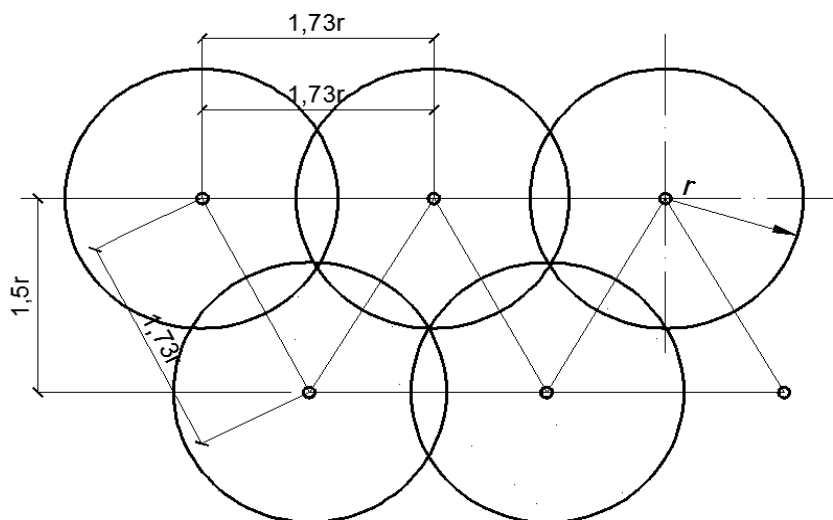


Рис. 3- Схема расположения отверстий для инъектирование древесины, ослабленной биоповреждениями

Экспериментально установлено, что радиус поглощения древесиной полимерной композиции, т.е. радиус закрепления (r) составляет шесть радиусов просверленных отверстий, а шаг отверстий для инъекций составляет $1,73r$. Диаметр отверстия назначается из условия диаметр иньектора + 5 мм. Схема иньектирования деревянной балки, ослабленной биоповреждениями представлена на рис.4.

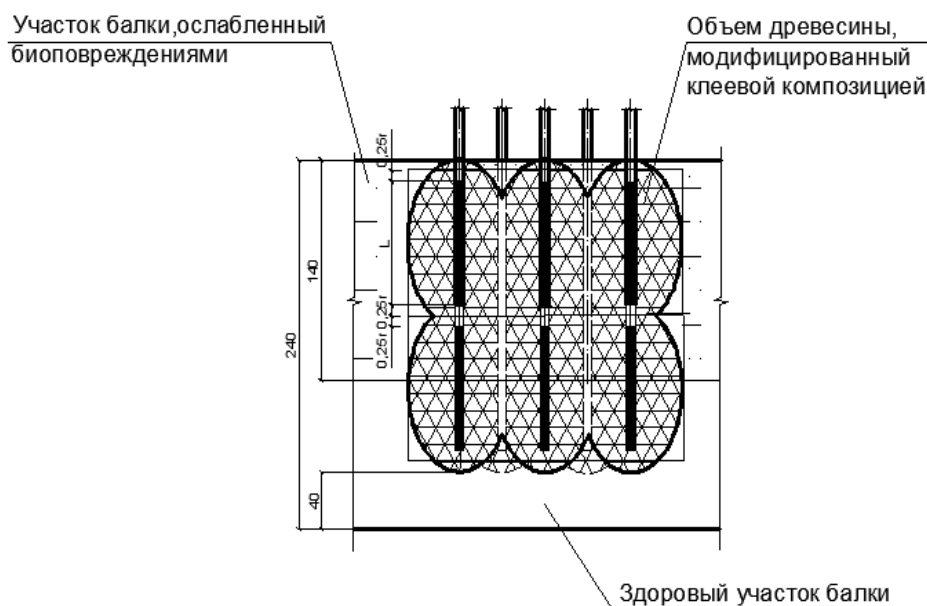


Рис. 4- Схема иньектирования деревянной балки, ослабленной биоповреждениями

Разрушение пропитанной полимерами древесины носит пластичный характер. При доведении до предельного состояния древесины разрушение происходит по древесине. Применение укрепляющей полимерной композиции несущую способность древесины, повышаются адгезионные характеристики и эксплуатационная надежность конструкций.

Усиление опорных зон деревянных балок, поврежденных гнилью, повышает их несущую способность по касательным напряжениям на 36...38%. Это дает возможность продлить срок эксплуатации балочных конструкций, требующих усиления.

Разработанные технические решения усиления и восстановления деревянных балок, ослабленных биоповреждениями, рекомендованы для использования в гражданском малоэтажном строительстве, а также для реставрации памятников архитектуры.

Список литературы

1. Рощина С.И., Щуко В.Ю. Клееные армированные деревянные конструкции. Учебное пособие. Издательство ГИОРД, г. Санкт-Петербург, 2009 г. 128 с.
2. Рощина С.И., Грибанов А.С., Лукина А.В. «Планирование экспериментального исследования клеевого компаунда для модификации древесины пораженной гнилью». Сборник трудов международной научно-технической конференции, г. Архангельск, 2014 г., - 427 с.
3. Рощина С.И., Лукин М.В., Лукина А.В., Лисятников М.С. Повышение эксплуатационных свойств древесины, ослабленной биоповреждением, путем модификации клеевой композицией на основе эпоксидной смолы. Научно-технический вестник Поволжья, №4, 2014 г., г. Казань, - 220 с.
4. ГОСТ 10587-93. Смолы эпоксидно – диановые неотвержденные. Технические условия. Москва, 1993 г., - 19 с.

05.11.13

Е.В. Сафонова к.т.н.

Бугульминский филиал Казанского национального исследовательского технического университета (КНИИТУ-КАИ) им. А.Н. Туполева, кафедра Естественных Научных Дисциплин, Бугульма; КНИИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, кафедра Систем Информационной Безопасности, Казань, ksafonova@yandex.ru

СВЧ ДАТЧИКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БЫСТРЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

В работе представлены результаты исследований СВЧ датчиков, предназначенных для диагностики наиболее динамичных процессов в камерах сгорания и других узлах тепловых энергетических установок ТЭУ во время старта и в полете. Основными объектами контроля являются космические и авиационные двигатели, требующие быстрой и точной диагностики их работы и мгновенного отслеживания предаварийной ситуации.

Ключевые слова: СВЧ датчики, микроволновое зондирование внутрикамерного пространства, автодинный эффект, кольцевая-щелевая антенна.

Введение

Высокая информативность быстродействующих физических процессов в ТЭУ приобрела практическое значение еще в 70-е годы прошлого века. Это произошло благодаря теоретическим работам И.Р. Пригожина и под воздействием участвовавших аварий в авиации и космонавтике (газотурбинные и жидкостные ракетные двигатели).

Упомянутые выше процессы порождены хаотическими изменениями состояния газового потока (пламени). В принципе, они могут быть зафиксированы по давлению, температуре и концентрации заряженных частиц (электронов) в пламенах в жидкостных реактивных двигателях (ЖРД), а так же по вибрациям в газотурбинных двигателях (ГТД).

Данные измерения вполне осуществимы в условиях стендов на земле, однако, в условиях полета крайне затруднительны!

Основным препятствием для всех существующих методов и конструктивных воплощений является запрет на внесение каких либо (даже незначительных изменений) в конструкцию двигателя! А такие изменения (например, нанесение отверстий для осуществления зондирования) необходимы в приложении ко всем известным на сегодняшний день методам (многочисленные патенты, статьи, монографии и диссертации).

Особенности исследований

В рамках данного исследования задачи решались поэтапно. Для понимания сложности исследования, необходимо перечислить предпосылки и препятствия, с которыми пришлось столкнуться в ходе теоретического и экспериментального анализа:

➤ Температура пламени и ее флуктуации, в данном случае, являются первичным параметром. По видимому, она имеет сходный с концентрацией спектр, однако, даже в лабораторных условиях непосредственному измерению не поддается! Это связано с тем, что стержневые конструкции термодатчиков инерционны, а тонкопленочные сгорают за доли секунд. Несмотря на эти преграды, термодинамические и электродинамические процессы в пламенах взаимосвязаны (то есть вторые, есть функции первых). Статистическую взаимосвязь отражает формула Саха-Ленгмюра:

$$\frac{n_{i+1}n_e}{n_i} = \frac{2}{\Lambda^3} \frac{g_{i+1}}{g_i} \exp \left[-\frac{(\epsilon_{i+1} - \epsilon_i)}{k_B T} \right] \quad (1)$$

➤ Спектр флуктуаций плазмы пламени простирается в ЖРД (средняя температура ~ 2000С) до нескольких МГц. При этом электронная концентрация N является доступным для регистрации параметром, но степень информативности отдельных участков спектра флуктуаций для конкретных ЖРД пока неизвестна. Препятствие состоит в том, что классические методы регистрации (восходя еще к Ленгмюру, т.е. к 20-30 годам) конструктивно неприемлемы (хотя бы из-за габаритов антенны).

➤ Вибрации лопаток турбины и компрессора в ГТД несут информацию о состоянии, и, особенно, о неисправностях половины узлов двигателя (даже камеры сгорания жаровых труб). Эти неисправности могут быть выявлены ультразвуковыми и другими физическими методами, включая радиоволновые. Однако, проблема состоит в том, что никакая диагностическая аппаратура не помещается в более тесное, чем в ЖРД, пространство проточного тракта.

Единственным доступным для датчиков "окном" является, так называемое, смотровое окно, которое в ГТД имеет диаметр (4-12)мм (Россия, США, Великобритания и др.), а в ЖРД -18мм (Россия). Однако, ими можно пользоваться только в условиях испытательных стендов- в них вводят волоконно-оптический кабель, в полете же эти "окна" закрывают заглушками.

Особенности датчиков

Датчик представляет собой миниатюрный приемопередатчик ближнепольной радиолокации. Принцип его работы заключается в микроволновом зондировании внутрикамерного пространства. Контролируемыми параметрами являются спектры флуктуаций электронной концентрации и температуры пламен, а также вибрации двигателя. Важность контроля обусловлена высокой информативностью параметров, подтвержденной положениями нелинейной термодинамики. Контроль позволяет оптимизировать рабочий режим, а также выявить опасные аномалии режима на предаварийной стадии.

Обязательным условием является полная конструктивная совместимость датчиков с двигателем и невозмущающий характер контроля.

Датчики трех параметров близки между собой как по принципу работы, так и по конструкции, но, к сожалению, и по чувствительности к помехам. Последнее означает, что любой из них реагирует как на параметры "соседей", так и на другие агрессивные факторы, порожденные процессом горения.

Конструктивно, датчики оформлены в виде антенно-генераторных модулей на основе отрезков коаксиальных или круглых волноводов, соответственно с кольцевой-щелевой или открытым концом. Установочные размеры разработаны под существующие стандартные штуцеры (4...16)мм.

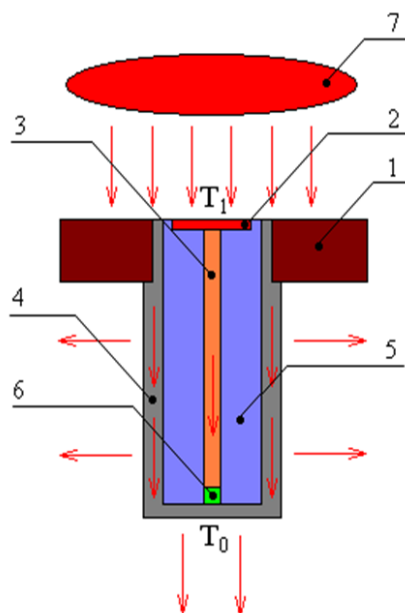


Рис.1 - Обобщенная конструкция автогенераторного датчика, подверженного нагреву

Его основные узлы: 1-стенка камеры сгорания ТЭУ; 2-огневая поверхность, совпадающая с раскрывом антенны; коаксиальный резонатор включает в себя стержень-3, внешний цилиндр-4 и диэлектрическую втулку 5. Вблизи торца расположен автогенератор, роль которого выполняет полупроводниковый междолинный или лавинно-пролетный диод 6. Нагрев осуществляется рабочим телом 7, температура которого в пристенной области T_1 , а наружная температура T_0 [1].

На сегодняшний день у всех термодатчиков существует одна основная проблема - у них выгорает тончайший полупроводниковый (термопара) слой.

Уже давно специалисты мечтают о создании данного слоя (чувствительного элемента) из того же материала, что и стенки камеры. В ходе данного исследования его удалось создать. В этом слое тепловые Фурье-волны распространяются, как и в старом прототипе [2], поэтому спектр отклика на температурные флуктуации тем шире, чем тоньше мембрана. В созданном образце она менее 0,1 мм, а полоса спектра составляет 50...100Гц.

Термочувствительность к флуктуациям обусловлена тем, что тепловые волны в тонкой мембране заставляют ее расширяться (сужаться) тем быстрее, чем она (мембрана) тоньше. Внешний диаметр щели связан (конструктивно и теплофизически) с толстым штуцером, а тот, в свою очередь, со стенкой камеры сгорания. Поэтому ширина, а вместе с ней и емкость щели флуктуирует, изменяясь на десятки процентов.

Однако тут есть противоречие!

Для контурного тока емкость щели включена последовательно с эквивалентной емкостью резонатора. Поэтому результирующая емкость:

$$\frac{1}{C_p} = \frac{1}{C_{щ}} + \frac{1}{C_{экв}} \quad (2)$$

и по мере сужения щели C_p стремится к $C_{экв}$. Таким образом, влияние щели на среднее значение C_p снижается. С другой стороны при узкой щели относительное изменение ширины растет, а при резком возрастании температуры возможно короткое замыкание! Для того, чтобы подобное не случилось, нами в ходе расчетов и экспериментов, был найден оптимальный размер щели, решающий описанное противоречие.

В диагностике ГТД существует серьезная проблема. Ни один из радиоволновых методов (патентов, диссертаций, статей) непригоден к контролю турбины высокого давления. Это связано с тем, что со стороны статора - место установки датчика, а именно, его антенны, лопатки закрыты бандажным кольцом, снижающим амплитуду изгибных виброколебаний (но крутильные остаются).

Даже поломка одной единственной лопатки вызывает появление дискретного компонента с частотой вращения. Финальная часть диагностической операции состоит в двухэтапном детектировании – радиочастотном, а затем амплитудном. Диагностическая операция завершается сопоставлением наблюдаемого спектра с эталонным, что происходит при вторичной обработке сигнала.

Спектр вибропроцесса весьма информативен и, в частности, позволяет выявить более десяти неисправностей в восьми узлах авиадвигателя на предаварийной стадии.

Выводы:

Основным результатом данной работы является анализ процессов измерительных преобразований. Здесь самым сложным этапом оказалось нетривиальное для радиолокации и принципиально различное для трех датчиков преобразование исходных параметров в комплексную проводимость малогабаритной и, следовательно, ненаправленной антенны. Найдены чувствительности и амплитудно-частотные характеристики датчиков по основному и "соседним" (помеховым) параметрам. Главным средством ослабления помеховых откликов предложен выбор зондирующих частот: для датчика концентрации - вблизи ленгмюровской частоты плазмы пламени (2...5)Гц, для температурного датчика ~10Гц, а для вибрационного датчика - (28...37)Гц.

Список литературы

1. Safonova E.V. Minimization of an autodyne sensor's error, stipulated by the antenna's heating// Joint meeting of the 14th European frequency and time forum and IEEE international frequency control symposium EFTF, 2000; pp 241-245;
2. Safonova E.V. Autodyne microwave sensor of combustion process: behavior under fast heating//Joint meeting of the 15th European frequency and time forum and IEEE international frequency control symposium, 2001, pp 84-88.

05.13.18

В.А. Столярчук

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
Москва, stolyarchukva609@mail.ru

ПОСТПРОЦЕССОР УЧЕБНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ CAE SIGMA ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ САПР АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ

В работе представлено краткое описание постпроцессора учебно-исследовательской программной системы, предназначенной для подготовки разработчиков программ инженерного анализа, используемых в САПР авиационно-космической техники. Назначение постпроцессора – вывод результатов расчета в наиболее удобной для анализа форме и построение графиков сходимости. Объект расчета – пластина, работающая в своей плоскости. Простота объекта и задачи обусловлены учебно-методическими целями.

Графический интерфейс реализован с использованием стандартной библиотеки WinForms и технологии MDI (Multi Document Interface), что позволяет одновременно работать с несколькими проектами. Сама разработка реализована на языке C# с использованием платформы .NET (разработка велась в IDE Microsoft Visual Studio 2010 Ultimate) и библиотека Tao Framework, предоставляющая разработчикам .NET и Mono доступ к возможностям популярных библиотек типа OpenGL и SDL.

В процессе эксплуатации постпроцессора получен большой методический опыт и накоплен определенный научный результат.

Ключевые слова: CAE-система, метод конечных элементов, постпроцессор, открытое программное обеспечение.

В силу закрытости кода пакетов конечно-элементного анализа таких, как ANSYS, NASTRAN, PATRAN, COSMOS и др. для подготовки специалистов по разработке подобных систем приходится создавать учебно-исследовательские системы, отличительная особенность которых состоит в том, что такие учебные системы, сохраняя основные функциональные свойства промышленных комплексов, имеют упрощенные алгоритмы системного и прикладного программного обеспечения и являются системами с открытым кодом.

Такой учебной системой является созданная в МАИ на кафедре «Прикладной информатики» учебная система SIGMA [1], реализующая МКЭ для плоского напряженно-деформированного состояния и призванная решать задачу обучения принципам построения CAE-систем и решению проблем алгоритмизации подобных систем. Модульная структура Sigma позволяет вовлекать в её разработку студентов 3-4-х курсов и дипломников. Работы студентов являются темами выступлений на конференциях, в том числе международных. SIGMA является для студентов проектным программным объектом, на котором они познают особенности разработки CAE-систем и накапливают опыт, позволяющий им быстрее адаптироваться к запросам предприятий и учреждений аэрокосмической отрасли.

Первоначально SIGMA представляла собой единую программу с последовательным подключением модулей подготовки исходных данных, расчетного модуля и модуля обработки представления результатов [1].

В настоящее время программа разделена на три самостоятельно работающих блока: препроцессор [2], расчетный блок, постпроцессор. Краткому описанию последнего блока посвящена настоящая работа.

В создании постпроцессора принимали участие несколько студентов кафедры, но основную работу по программированию выполнили студенты Незаметдинов И.Э. [3], и Переверзев Е.В. [4], которым кафедра и руководитель работ выражают искреннюю благодарность.

К постпроцессору изначально предъявлялся ряд требований. Прежде всего, он должен реализовывать основной функционал реальных систем, но быть достаточно простым для освоения. Кроме того, постпроцессор должен обеспечить построение графиков сходимости результатов (по напряжениям) и обеспечивать студентам возможность легко вносить изменения в программу с целью дальнейшей его модернизации и совершенствования. Сейчас постпроцессор обладает следующими основными возможностями:

- обеспечивает одновременную работу с несколькими задачами;
- позволяет настраивать отображение результатов расчетов по запросам пользователя и обеспечивает анимацию объектов;
- позволяет строить графики сходимости получаемых результатов
- экспортирует данные в сторонние системы для дальнейшего анализа

Для осуществления возможностей дальнейшего совершенствования постпроцессор построен по модульному принципу. Каждый модуль реализует отдельную функцию. Такая структура позволяет студентам изучать, дополнять, изменять, перерабатывать модули и, тем самым, получить реальный опыт участия в разработке сложных программ.

Основными элементами структуры постпроцессора является ядро, которое обеспечивает выполнение системных функций, импортирует первичные данные из препроцессора и расчетного блока, является родительской формой для всего интерфейса программы. Все эти данные сохраняются в специальном модуле, который проводит полный разбор проекта с файлами из системы SIGMA. Считывание каждого из файлов вынесено в отдельный блок. Это связано с тем, что файлы являются бинарными. Структура данных в них различается в зависимости от версии Sigma. Разделители между блоками данных не всегда отличны от самих данных. Также каждый файл хранит в себе логически законченный блок информации. Разбиение на отдельные методы позволило снизить количество ошибок при чтении этих файлов. В первом файле хранятся данные об узлах модели, во втором данные о конечных элементах, а также зонах.

Пользовательский интерфейс построен по технологии MDI (рис. 1)

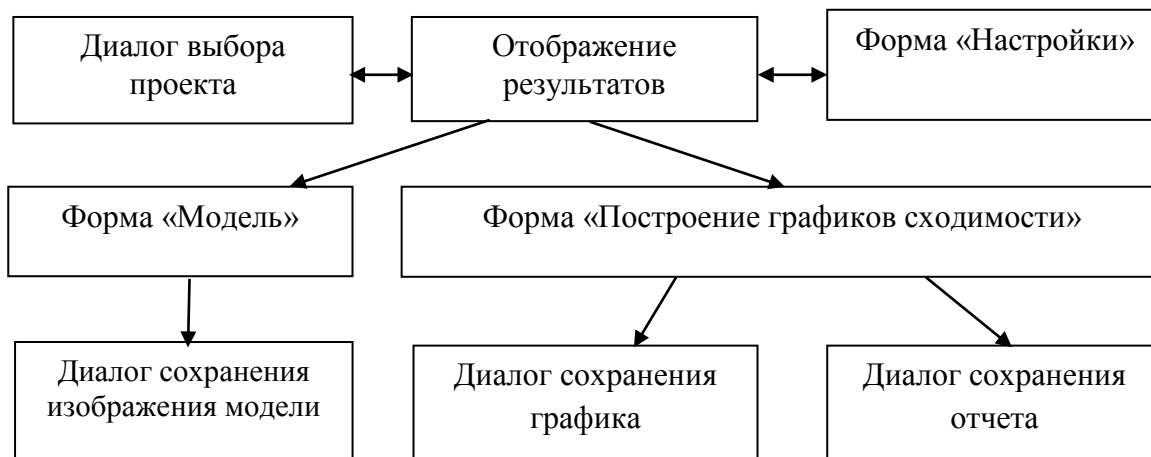


Рис. 1. Структура пользовательского интерфейса

Родительской для всех окон является панель «Отображение результатов», которая является центральной в системе, поскольку в ее функции входит отображение модели, работа с моделью, настройки отображения, а так же представлены практически все инструменты для проведения исследований. Некоторые варианты отображения модели представлены на рис. 2.

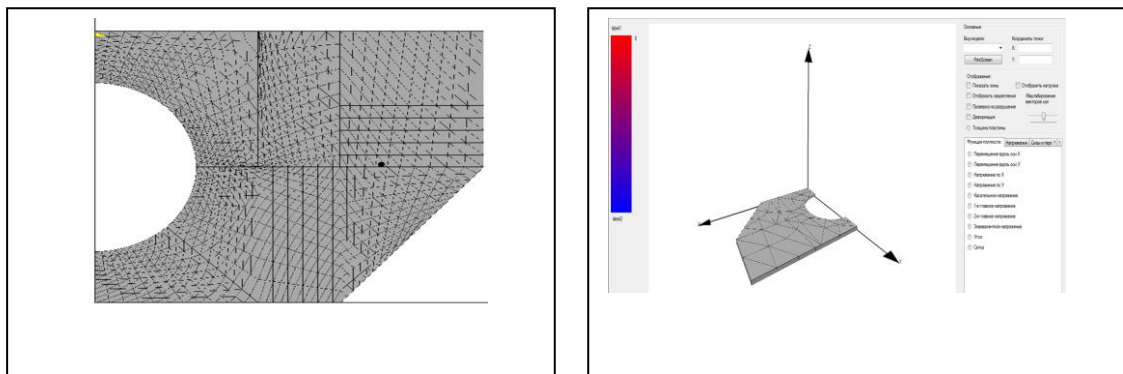


Рис. 2. Отображение модели в 2D и 3D

Отображение результатов расчета осуществляется как в 2D, так и в 3D. Пример отображения результатов расчета в 3D представлен на рис.3.

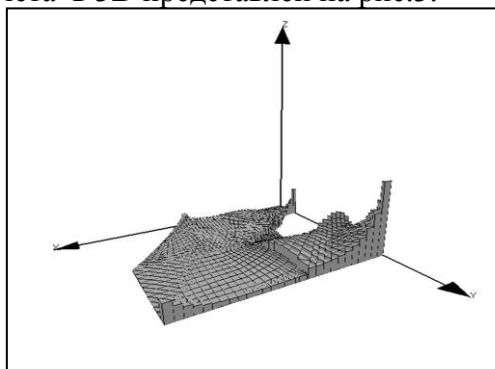


Рис. 3. Результаты расчета напряжений вдоль оси X в 3D

Отображение в 3D как объекта исследования, так и результатов расчета обеспечено возможностью поворота изображения относительно любой из осей, масштабирования, изменения цвета и т.п.

На рис. 4. приведена форма и результат построения графиков сходимости напряжений вдоль оси X в точке с координатами (41;41).



Рис. 4. Пример построения графика сходимости

Здесь вдоль оси X показано условное число конечных элементов, выраженное через параметр NRC. Возможен пересчет напряжений относительно центра параллельных сил и центра масс. Имеется возможность импортировать результаты расчета из систем ANSYS и NASTRAN для построения графиков сходимости.

Наличие препроцессора изменило концепцию системы, приближая её к концепции коммерческих пакетов, что способствует получению необходимого инженерного опыта обучаемых с учетом специфических требований проектных организаций аэрокосмической промышленности.

Список литературы

1. *Столярчук В.А.* Программная система для обучения разработчиков САЕ-приложений // Научно-технический вестник Поволжья. -2012.- №6. - С. 394-397.
2. *Столярчук В.А.* Препроцессор программной системы SIGMA для обучения разработчиков САЕ-приложений, используемых в САПР аэрокосмической отрасли // Электронный журнал «Труды МАИ». -2013. - вып. 71. - 21стр.
3. *Незаметдинов И.Э.* Разработка графического отображения результатов расчетов в учебной САЕ- системе Sigma // Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции молодых ученых и студентов "Информационные технологии в авиационной и космической технике-2008", Москва, МАИ, 2008.
4. *Переверзев Е.В.* Об опыте разработки постпроцессора для учебной системы конечно-элементного анализа // Сборник тезисов докладов 11-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика -2012», Москва, МАИ, 2012.

05.13.18

Н.М. Труфанова д.т.н., Д.П. Пасынков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ

Построена математическая модель процесса конвективного теплопереноса с учетом вулканизации резиновой изоляции кабеля. Получены поля скоростей, температур в вулканизационной трубе, определена степень полимеризации резины по высоте изоляции. Рассмотрено влияние на степень сшивки технологических и физических параметров процесса.

Ключевые слова: *математическая модель, резиновая изоляция кабеля, степень полимеризации.*

На сегодняшний день исследованиям процесса вулканизации резиновой изоляции кабелей посвящено достаточно большое количество работ. Однако, несмотря на многолетний практический опыт, остается не изученным влияние на процесс вулканизации конвективного теплообмена, кинетических параметров и зависимости теплофизических свойств среды от температуры. Анализ и определение рациональных режимов процесса вулканизации позволит производить качественную продукцию с минимальными затратами сырья и энергии.

Рассматривался процесс вулканизации кабеля марки ВРГ 1х150-0,66кВ с радиусом жилы $r_1=7,87$ мм, толщиной изоляции $\Delta_{из}=2$ мм. Радиус вулканизационной трубы $r_3=37,5$ мм. Материал жилы – медь, материал изоляционного слоя – резина. Начальная ($t=0$) температура кабеля $T_0=90^\circ\text{C}$, в качестве вулканизационной среды используется насыщенный водяной пар, температура пара поддерживается нагревательным устройством, находящимся на боковой стенке трубы. Область решения рассматриваемой задачи представлена на рис. 1.

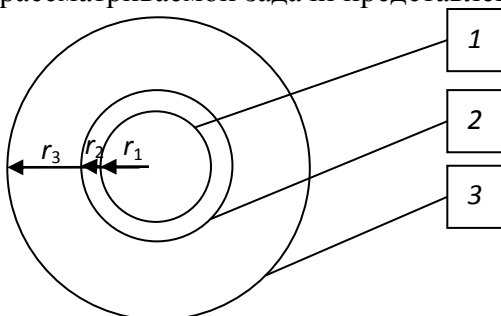


Рис.1. Область решения задачи: 1 – металлическая жила; 2 – изоляционный слой;
3 – вулканизационная труба.

Изделие с начальной температурой T_0 поступает в вулканизационную трубу, имеющую температуру T_v , где происходит нагрев и вулканизация изоляционного слоя. Построение математической модели основывается на законах сохранения.

В работе были сделаны следующие допущения:

1. поверхность контакта жилы с изоляцией считалась идеальной;
2. диффузия тепла вдоль кабеля не учитывалась;
3. коэффициенты теплопроводности металла (меди) и резины не зависели от температуры;
4. энергия активации не изменяется в пределах рассматриваемых температур.

С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений, описывающих процесс теплопроводности с учетом кинетических реакций имеет вид: [1, 2]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} \right) = c_1 \rho_1 V_0 \frac{\partial T_1}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} \right) + Q_p w_p = c_2 \rho_2 V_0 \frac{\partial T_2}{\partial t} \quad (2)$$

$$w_p = \rho_2 \frac{d\varphi}{dt}; \quad \frac{d\varphi}{dt} = (1 - \varphi) k_0 \exp \left(- \frac{E_a}{RT_2} \right) \quad (3)$$

$$c_3 \rho_3 \left(\frac{\partial T_3}{\partial t} + U_x \frac{\partial T_3}{\partial x} + U_y \frac{\partial T_3}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial y} \right) \quad (4)$$

$$\rho_3 \left(\frac{\partial U_x}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) \quad (5)$$

$$\rho_3 \left(\frac{\partial U_y}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) + g\beta(T - T_0) \quad (6)$$

$$\frac{\partial \rho_3}{\partial t} + U_x \frac{\partial \rho_3}{\partial x} + U_y \frac{\partial \rho_3}{\partial y} = \rho_3 \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) \quad (7)$$

Начальные условия ($t=0$):

$$T_1(r,0)=T_2(r,0)=T_0, \quad T_3(r,0)=T_b, \quad U_x(r,0)=U_y(r,0)=0, \quad \varphi_0=0. \quad (8)$$

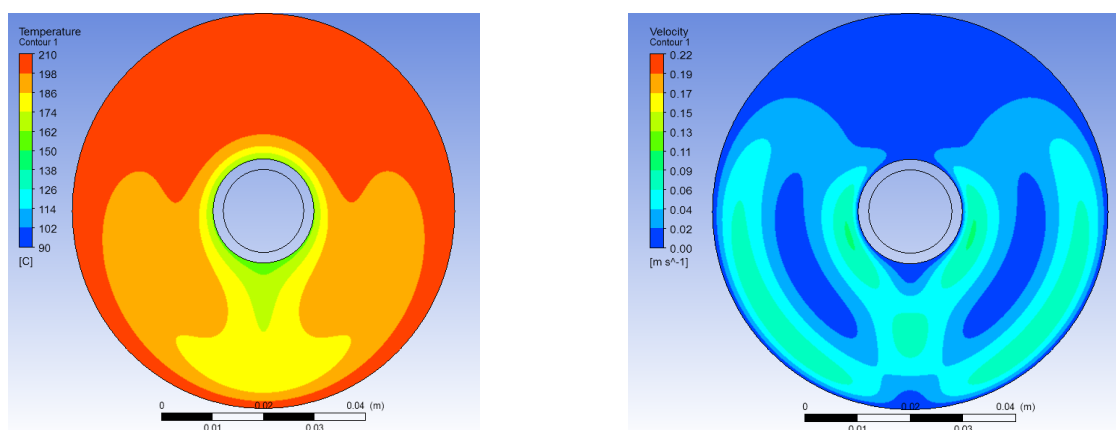
Граничные условия для скорости на твердых стенках задаются из условия прилипания и непроникновения, для температуры:

$$\left. \frac{\partial T_1}{\partial x} \right|_{x=0} = 0; \quad \left. \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \right|_{x=r_1} = \left. \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \right|_{x=r_1}, \quad T_1 = T_2; \quad \left. \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \right|_{x=r_2} = \alpha(T_\epsilon - T_2) + \epsilon_{np} (T_\epsilon^4 - T_2^4) \quad (9)$$

где T_b – температура среды вулканизации, °C; T_0 – начальная температура жилы и изоляции, °C; E_a – энергия активации химической реакции, кДж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·K); α – коэффициент теплообмена с окружающей средой, Вт/(м²K); ϵ_{np} – приведенная степень черноты; w_p – скорость полимеризации; φ – степень полимеризации; λ_i – теплопроводность, Вт/м°C; ρ_i – плотность, кг/м³; c_i – теплоемкость, Дж/кг°C; $i=1$ -жила, 2-изоляция, 3-воздух; $-V_0$ – скорость движения жилы и изоляции, м/с; Q_p – теплота химической реакции полимеризации, Дж/кг; $k_0=5 \cdot 10^5$ – предэкспонент химической реакции, с⁻¹; U_x, U_y – компоненты вектора скорости воздуха; μ – вязкость, Па·с; P – отклонение давления воздуха от гидростатического, Па; g – ускорение свободного падения, м/с²; β – коэффициент термического расширения, К⁻¹.

Система уравнений (1)-(10) решалась методом конечных элементов. Значения исходных параметров аналогичны работе [3]. Для подтверждения адекватности разработанной математической модели процесса вулканизации результаты данной работы сравниваются с результатами работы [4], в которой решена задача процессов тепломассопереноса, протекающих в типичных кабельных изделиях при полимеризации, без учета изменения теплофизических параметров от температуры. Расхождение результатов не превышает 2%, что свидетельствует об адекватности разработанной модели.

На рисунке 2 представлены полученные температурные поля и поля скоростей через 10 минут после начала процесса вулканизации. Распределения температуры и скоростей в воздушной среде соответствует конвективному теплообмену – наиболее нагретая область – в верхней части канала, наиболее интенсивное течение – в нижней части.

Рис.2. Поля скоростей и температур в момент времени $t=600\text{с}$.

В результате выполненных численных исследований найдено изменение степени полимеризации по толщине изоляции (рисунок 3).

Видно, что уже в момент времени $t=1000\text{с}$ поверхностный слой полностью полимеризовался. На границе раздела двух сред, спустя 1200с , степень полимеризации становится равной $\phi=0,98$, что позволяет утверждать о завершении реакции. Разница завершения процесса вулканизации в 200с между точкой на поверхности и около жилы обуславливается относительно медленным прогревом изоляции по толщине.

Энергия активации может изменяться в довольно широких диапазонах – от единиц до нескольких сотен кДж/моль. Поскольку энергия активации это энергия, необходимая для перехода частиц в состояние активированного комплекса, то чем меньше энергия активации, тем больше скорость химической реакции, тем раньше материал полностью вулканизируется. На рисунке 4 приведена зависимость степени полимеризации на границе раздела двух сред “медь – резина” от времени.

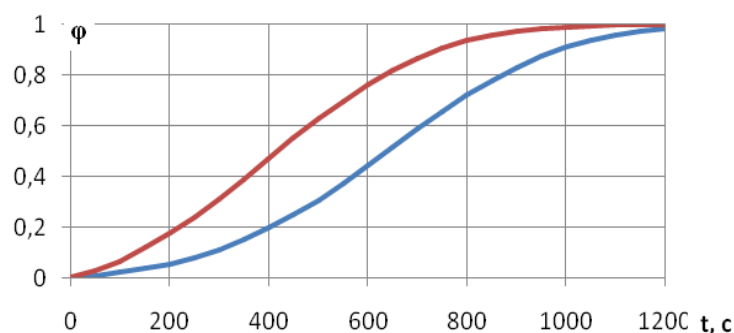
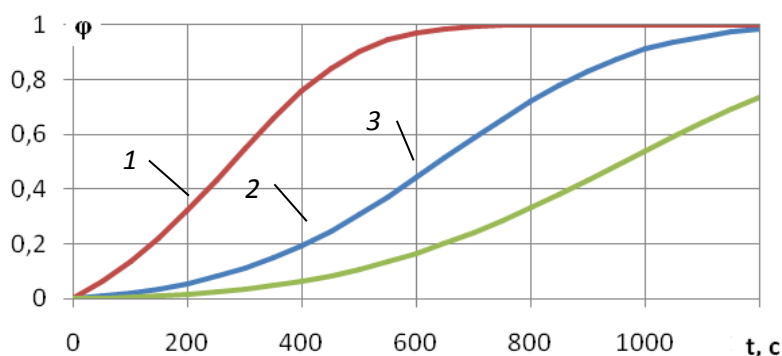


Рис. 3. Изменение во времени степени полимеризации:

1 – на поверхности изоляционного слоя; 2 – на границе раздела “медь–резина”.

Рис. 4. Зависимость степени полимеризации от времени для различных значений E_a :
1 – 60 ; 2 – 66 ; 3 – 70кДж/моль .

В результате анализа полученных результатов сделаны следующие выводы: на время завершения вулканизации существенно влияет энергия активации, в то время, как зависимость теплофизических свойств от температуры влияет на процесс вулканизации незначительно.

Список литературы

1. Аваев А.А., Осипов Ю.Р., Павлов В.В. Математическая модель нагрева двухслойной пластины в системе металл – эластомер в процессе термической вулканизации эластомера // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2008. №7. с. 3 – 4.
2. Зиннатуллин Р.Р., Труфанова Н.М. Численное моделирование технологических напряжений при изготовлении пластмассовой изоляции провода // Вычислительная механика сплошных сред. 2009. Т. 2. № 1. С. 38-53.
3. Мамбетова Е.А., Труфанова Н.М. Математическое моделирование температурных полей и степени вулканизации в процессе вулканизации типичных кабельных изделий // «Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления». 2012. №6. С.152 – 158.
4. Иванова, Е.В. Физико-химические процессы при полимеризации изоляционных слоев кабельных изделий в условиях нестационарного сопряженного теплообмена: диссертация ... кандидата физико-математических наук .Томск. 2013 – 129 с.
5. Шеремет М.А. Нестационарная сопряженная задача термогравитационной конвекции в горизонтальном цилиндре // «Вестник томского государственного университета». 2010. № 2(10). С. 102 – 111.

05.23.01

О.А. Туснина

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
кафедра металлических конструкций, lazoltus@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕСТКОСТИ СОЕДИНЕНИЯ ТОНКОСТЕННОГО ГНУТОГО ПРОГОНА ПОКРЫТИЯ С СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЬЮ

В статье приводятся результаты численного и экспериментального исследований жесткости соединения тонкостенного гнутого прогона с сэндвич-панелью. Погрешность, полученная при численном расчете составляет не более 10%. Результаты исследований использованы при разработке инженерной методики определения жесткости соединения тонкостенного прогона с сэндвич-панелью.

Ключевые слова: численный расчет, эксперимент, тонкостенный прогон, сэндвич-панель

Расчет стальных конструкций из холодногнутого профиля имеет ряд особенностей [1, 2]. Использование холодногнутого тонкостенного прогона в покрытиях зданий с кровлями из сэндвич-панелей требует изучения их действительной работы при действии эксплуатационных нагрузок на покрытие, так как прикрепленные к прогонам сэндвич-панели оказывают сопротивление свободному повороту профиля, существенно влияя на его несущую способность. С этой целью были проведены экспериментально-теоретические исследования жесткости соединения тонкостенного холодногнутого прогона покрытия с сэндвич-панелью.

Экспериментальная модель, выполненная в соответствии с рекомендациями пункта A5.3 EN 1993-1-3 [3] (рис.1), представляла собой прогон длиной 1 м (Z-образный оцинкованный профиль Ruukki Z200x2 толщиной 2 мм из стали S350GD+Z в соответствии с EN10346), прикрепленный к сэндвич-панели (Ruukki SPC 1200/8PU шириной 1000 мм, длиной 600 мм с толщиной стальных обшивок 0.5 мм). В качестве соединительных элементов применялись саморезы, предназначенные для сэндвич-панелей GT6 175-5.5/6.3 мм.



Рис. 1- Общий вид лабораторного стенда

Рассматривались различные варианты ориентации прогона относительно сэндвич-панели, а также количества и расположения саморезов по длине прогона (рис. 2).

Прогон загружался в середине длины горизонтальной сосредоточенной силой, приложенной к стенке. Определялась величина силы, вызывающей горизонтальное перемещение свободной полки прогона на величину, равную 1/10 его высоты (20 мм).

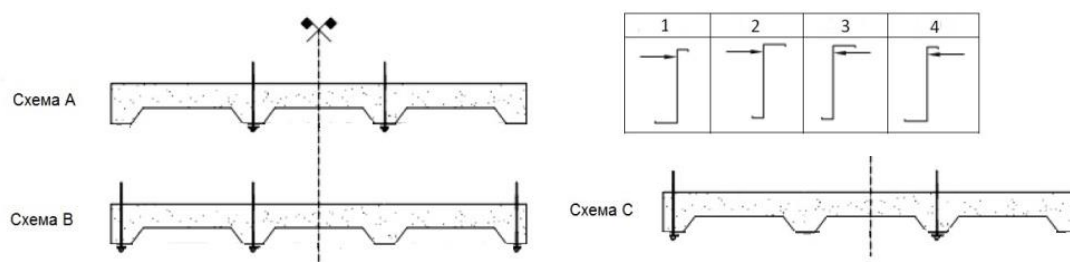


Рис. 2- Схемы установки саморезов и положения прогона

Нагрузка прикладывалась пошагово. На каждом шаге загрузки измерялось горизонтальное перемещение свободной полки прогона. На рис. 3 показан график зависимости перемещений свободной полки от нагрузки при загрузке и разгрузке модели по схеме A1.

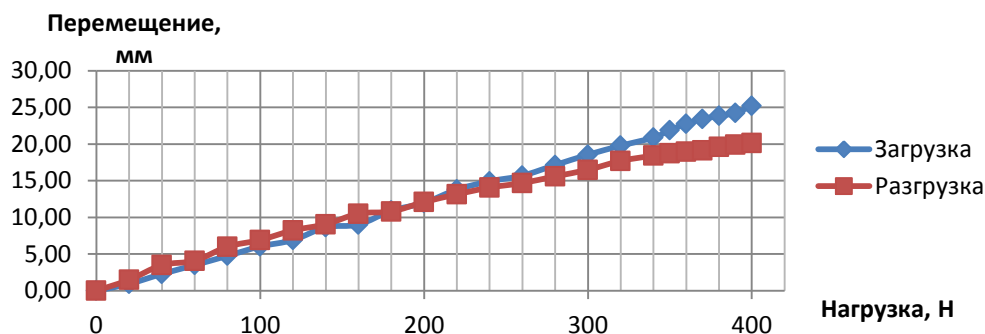


Рис. 3- График зависимости перемещений свободной полки от нагрузки при загрузке и разгрузке модели по схеме A1

Кривые, полученные при загрузке и разгрузке системы, имеют практически линейный характер и близки по значениям. На рис. 4 приводится диаграмма сравнения нагрузок, вызывающих перемещение свободной полки прогона на величину 20 мм для схем A, B и C.

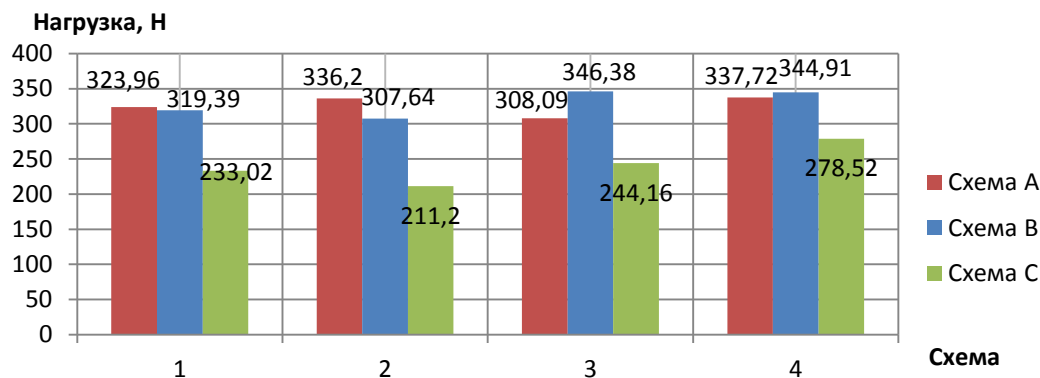


Рис. 4- Диаграмма сравнения нагрузок, вызывающих перемещение свободной полки прогона на величину 20 мм для схем A, B и C

Почти во всех случаях наибольшей жесткостью обладает соединение по схеме A – с симметричным расположением саморезов по длине прогона.

Численные расчеты выполнены в программном комплексе MSC.NASTRAN [4]. Конечно-элементная модель показана на рисунке 5.

Прогон разбивался на плоские конечные элементы PLATE ($E=206000$ МПа, $\nu=0.3$), а сэндвич-панель моделировалась следующим образом: наружные слои – плоский и профилированный металлические листы (конечный элемент PLATE, толщина 0.5 мм $E=206000$ МПа, $\nu=0.3$) и внутренний, утепляющий, слой из полиуретана (конечный элемент SOLID, $E=3.5$ МПа, $\nu=0.15$).

Соединение между прогоном и сэндвич-панелью осуществлялось по ребру, относительно которого происходит поворот прогона. Эта связь моделировалась с использованием элемента RIGID (независимые узлы – на прогоне, объединяемые степени свободы – все линейные перемещения). Саморезы моделировались как элементы BEAM, круглого сечения, диаметром 6.3 мм. Для распределения напряжений и осуществления наиболее реальной работы конструкции на наружной стороне панели моделировалась гайка, как четыре пересекающихся стержневых элемента.

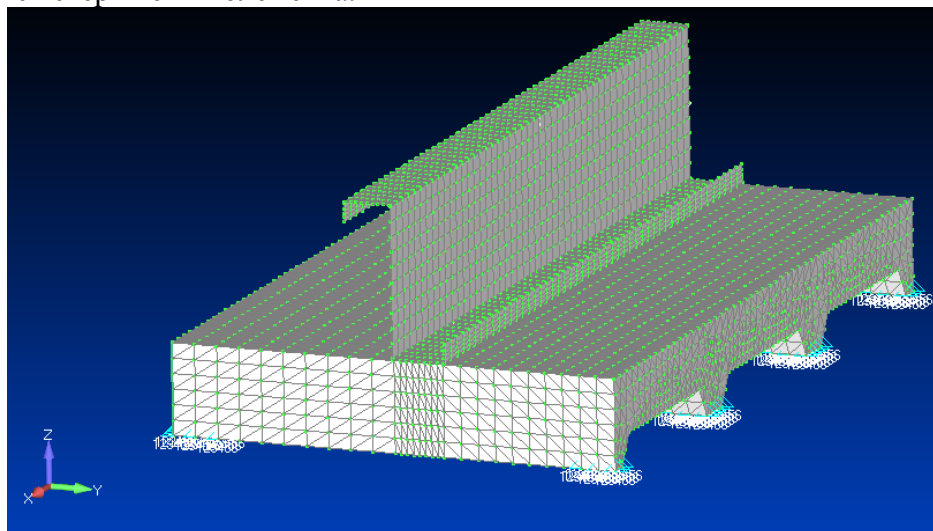


Рис. 5- Расчетная модель

Величины нагрузок для расчета определялись по результатам эксперимента. Статический расчет выполнялся в геометрически и физически линейной постановке.

Для определения оптимальной сетки разбиения конечно-элементной модели (размер и количество элементов) были выполнены тестовые численные расчеты [5]. На основании полученных результатов для дальнейших расчетов принята сетка разбиения схемы с 10 конечными элементами по высоте прогона.

В таблице 1 представлено сравнение результатов эксперимента и численного расчета. Наименования схем расположения прогона, саморезов и направления действия нагрузки соответствуют показанным на рисунке 2

Таблица 1- Горизонтальные перемещения, полученные экспериментальным и численным методами

методами					
Схема		Сила, Н	Перемещение,мм		Погрешность, %
			Эксперимент	NASTRAN	
А	1	323.96	20.00	19.78	-1.10
	2	301.17	20.00	19.73	-1.35
	3	308.09	20.00	20.63	+3.15
	4	337.72	20.00	21.37	+6.85
В	1	319.39	20.00	19.72	-1.42
	2	307.64	20.00	18.89	-5.05
	3	346.38	20.00	19.78	-1.10
	4	344.91	20.00	19.43	-2.85
С	1	233.02	20.00	18.68	-6.60
	2	211.2	20.00	18.06	-9.70
	3	244.16	20.00	20.08	+0.40
	4	278.52	20.00	21.98	+9.90
				Средняя погрешность, %	4.10

Из таблицы 1 видно, что наибольшая погрешность при сравнении результатов численного расчета и эксперимента не превосходит 10%, а средняя погрешность составляет 4.1%. Это говорит о том, что составленная численная модель позволяет получить достаточно достоверные результаты, и может быть использована для определения жесткости соединения прогона с сэндвич-панелью.

Проведенные экспериментально-теоретические исследования позволяют заключить, что на величину жесткости соединения прогона с сэндвич-панелью влияет множество факторов, наиболее характерными из которых являются: количество и расположение саморезов по длине прогона, форма поперечного сечения прогона и его положение относительно панели. Кроме того необходимо учитывать возможные отклонения саморезов от середины полки, т.к. это также оказывает значительное влияние на жесткость соединения.

Список литературы

1. Айрумян Э.Л. Особенности расчета стальных конструкций из тонкостенных гнутых профилей // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2008, - №3. – С. 2-7
2. Айрумян Э.Л. Рекомендации по расчету стальных конструкций из тонкостенных гнутых профилей // СтройПРОФИль. – 2009, - №8 (78). – С. 12-14
3. EN 1993-1-3:2006 Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting.
4. Шимкович Д. Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2001 – 448 с.
5. Tusnina O. An Influence of the Mesh Size on the Results of Finite Element Analysis of Z-purlins Supported by Sandwich Panels // Applied Mechanics and Materials. – 2014, - Vols. 475-476. - 1483-1486 p.

05.13.06

Р.С. Ульянов, Ю.Л. Беккер к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
институт инженерно-экологического строительства и механизации,
кафедра электротехники и электропривода, roman-prog@mail.ru, 1774@17-71.com

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ И ИСКУССТВЕННЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ В ЗАМКНУТЫХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

В статье рассмотрены перспективы создания и применения систем квази-естественного микроклимата и освещения с автоматическим управлением. Предложена предполагаемая схема реализации, представлен анализ актуальности поставленного вопроса.

Ключевые слова: *система автоматического управления, микроклимат, искусственное освещение, изолированные помещения. автономная среда.*

Развитие человечества носит преимущественно экстенсивный характер что, в конечном счете, негативно сказывается на состоянии окружающей среды. Одним из способов преодолеть негативные аспекты ухудшения параметров окружающей среды является дальнейшее развитие технологий позволяющих создать искусственную среду обитания человека. В данной статье будут рассмотрены возможности по созданию квази-естественных параметров окружающей среды в условиях наземных замкнутых помещений. В помещении с постоянным пребыванием людей параметры микроклимата [1] должны соответствовать нормированным значениям. Нарушение параметров микроклимата в условиях современных жилых и общественных помещений может привести к ухудшению здоровья человека и повышенному росту патогенных микроорганизмов [2]. Помимо указанных выше параметров, неотъемлемой частью окружающей среды является освещение. Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь, как правило, естественное освещение. В случае если это невозможно необходимо обеспечить искусственного освещения соответствующее нормативным документам. Однако, при воздействии на биологические организмы излучением, получаемым исключительно от источников искусственного освещения, невозможно обеспечить протекание некоторых фотобиологических процессов, важных для функционирования живых организмов [4]. Для обеспечения условий освещения приближенных к естественным возможно применение систем квази-естественного освещения на базе СИД, реализованных в рамках концепции системы освещения помещений с автоматическим управлением на базе светодиодов [5] Исходя из выше сказанного для достижения заданных параметров микроклимата и освещения наиболее перспективным видится создание соответствующей автоматической системы, схема которой представлена на рисунке 1.

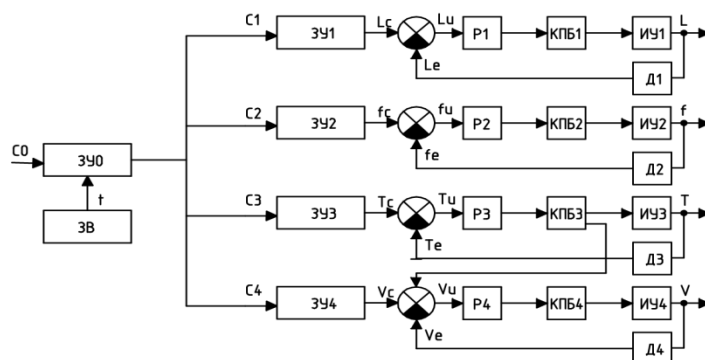


Рис. 1 — Функциональная схема системы автоматического управления (САУ) параметрами микроклимата и освещения.

Где: *Устройства:* ЗУ0 – главное задающее устройство обеспечивающее реализацию автоматической программы или ручного управления; ЗУ1 – задающее устройство системы

освещения; ЗУ2 – задающее устройство системы контроля химического состава воздуха; ЗУ3 – задающее устройство системы контроля температуры; ЗУ4 – задающее устройство системы вентиляции; Р1, Р2, Р3, Р4 – регулирующие устройства соответствующих систем; КПБ1, КПБ2, КПБ3, КПБ4 – контрольно пусковые блоки соответствующих систем; ИУ1, ИУ2, ИУ3, ИУ4 – исполнительные устройства соответствующих систем; Д1, Д2, Д3, Д4 – комплекты датчиков соответствующих систем.

Физические величины и сигналы: С0, С1, С2, С3, С4, сигналы управления соответствующими системами; Lс – задающий сигнал управления для системы освещения; fс – задающий сигнал управления для системы качества (хим. состава) воздуха, Тс, – задающий сигнал управления для системы контроля температуры; Vс – задающий сигнал управления для системы вентиляции; Lu, fu, Tu, Vu – соответствующие результирующие сигналы управления; Le, fe, Te, Ve – соответствующие сигналы рассогласования; L – итоговое оптическое излучение; f – итоговый состав воздуха; Т – итоговая результирующая температура в помещении; V – итоговый объем воздуха проходящий через систему вентиляции в отчетный период; t – сигнал времени.

Управление происходит по четырем каналам. Контроль температуры может осуществляться как в результате работы нагревательных устройств, так и за счет действия системы вентиляции. Более наглядно принцип работы системы представлен на функциональной схеме системы квази-естественного микроклимата и освещения в помещении (рисунок 2)

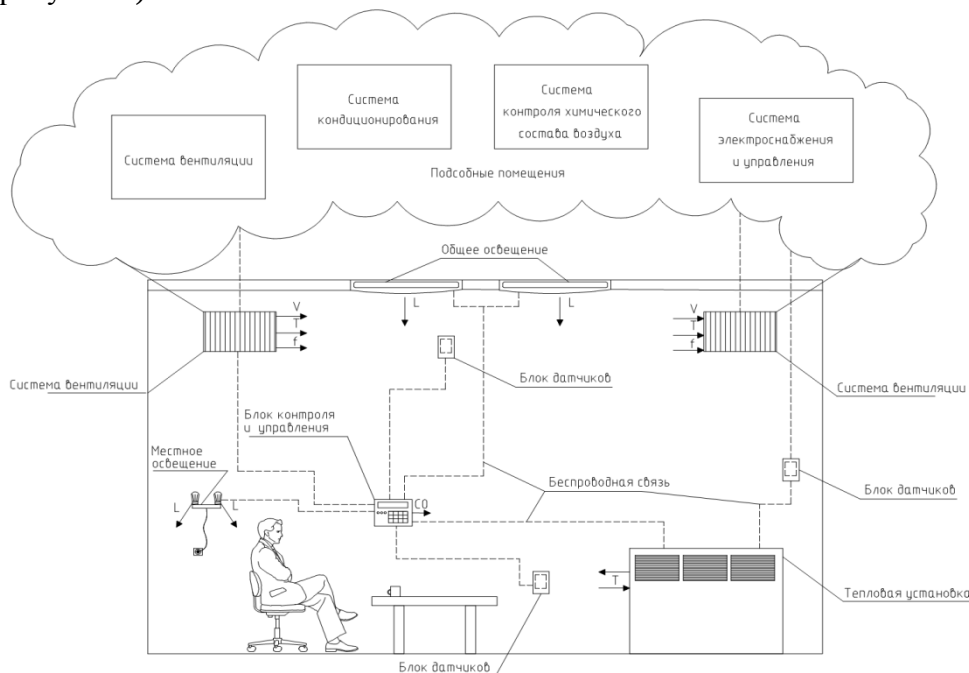


Рис. 2 — Функциональная схема системы квази-естественного микроклимата и освещения в помещении.

В состав системы входят: Система управления температурой – реализует функции нагрева и охлаждения воздуха и поверхностей в помещении, состоит из устройства нагрева/охлаждения установленного непосредственно в помещении, а также из системы кондиционирования воздуха способной работать в режимах охлаждения и нагрева; Блок контроля и управления – реализует функции ручного и автоматического программного управления всеми системами и подсистемами, является главным узлом распределенной беспроводной вычислительной сети; Система вентиляции – реализует функции подачи, забора и механической фильтрации воздуха; Система контроля химического состава воздуха – связана с системой вентиляции и обеспечивает необходимое количество кислорода, углекислого газа, а также поддерживает заданный уровень влажности воздуха; Блок датчиков для каждой системы – позволяют получать информацию в реальном времени о соответствующих параметрах микроклимата и освещения в помещении; Система

беспроводной связи – обеспечивает связь между отдельными узлами; Система электроснабжения и управления – является вспомогательной и обеспечивает оптимальный режим электропитания, мониторинг и управление для всех элементов системы; Система освещения – обеспечивает качественные и количественные параметры оптического излучения в помещении состоит из общего и местного освещения. Ввиду высокой сложности алгоритмов управления и значительной трудоемкости процесса ручной настройки параметров регулятора в предполагаемую систему должны быть заложены алгоритмы облегчающие выбор характеристик закона регулирования [5]. С точки зрения обеспечения безопасности людей находящихся в помещении, САУ должна иметь механизмы компенсации ошибок настройки регулятора [6]. Таким образом, может быть получена возможность комплексного контроля параметров микроклимата, что открывает широкие возможности для применения. Так предполагаемая система может использоваться как для улучшения психо-физического состояния людей работающих в неблагоприятных условиях крайнего севера обеспечивая режимы искусственного дня или даже искусственного времени года. Также данная система может использоваться для адаптации спортсменов к другим часовым поясам, за счет управления биологическими ритмами. Абстрагируясь от показателей экономической эффективности, можно утверждать, что реализация данной системы возможна и актуальна при текущем уровне развития уровня науки и техники, что отчасти подтверждается исследованиями в области автоматического управления освещением [7] и теплоснабжением жилых и промышленных зданий [8]. Исходя из вышесказанного можно сделать вывод об актуальности данной задачи и о возможности появления в обозримом будущем систем квази-естественного микроклимата и освещения в быту и народном хозяйстве.

Список литературы

1. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. / Стандартинформ, 2013. – С. 2.
2. Веревина М.Л. Оценка влияния микроклимата и микробного загрязнения воздуха на современного жилища на уровень здоровья человека / Веревина М.Л., Жуоква Т.В., Мороз И.В., Чернышева Н.А., Корнилова Н.М. // «Методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования физических факторов в гигиене окружающей среды» Материалы пленума Научного совета по экологии человека и хэкологии окружающей среды РАМН и Минсдравсоцразвития Российской Федерации, Москва 2008 г. С. 36-38
3. Завьялов В.А. Достижение оптимального прохождения фотобиологических процессов за счет применения освещения на базе автоматически управляемых СИД / Завьялов В.А., Величкин В.А., Ульянов Р.С., Шиколенко И.А. // Научно-технический вестник Поволжья. Казань – 2013 –С. 270-273
4. Ульянов Р.С. Концепция системы освещения помещений с автоматическим управлением на базе светодиодов / Ульянов Р.С., Завьялов В.А. // Молодой учёный – 2013 – №3 – С. 108-111.
5. Завьялов В. А. Определение параметров МП регулятора по параметрам передаточной функции объекта управления / Завьялов В.А., Величкин В.А. // Механизация строительства. – 2011 – № 8 – С. 22-23.
6. Завьялов В. А. Компенсация ошибок настройки регулятора при изменении свойств объекта управления / Завьялов В.А., Морозова Н.Ю. // Механизация строительства. – 2008. – №. 3 – С. 19-20
7. Ульянов Р.С. Применение светодиодных светильников с автоматическим управлением для организации совмещенного освещения в помещениях жилых и общественных зданий / Прокопьев С.В., Ульянов Р.С., Шиколенко И.А. // Молодой учёный – 2013 – №3 – С. 108-111.
8. Побат С. В. Автоматизация инженерных систем теплоснабжения жилых и промышленных зданий / Побат С. В., Тихонов А. Ф. // Механизация строительства. – 2009. – №. 11. – С. 22-24.

05.23.03

П.А. Хаванов, А.С. Чуленёв

Московский Государственный Строительный Университет, институт ИИЭСМ,
кафедра «Теплотехника и теплогазоснабжение», Москва, goverton@mail.ru

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Рассматриваются особенности теплообмена в радиационных и конвективных поверхностях нагрева водогрейных котлов малой мощности. Обосновываются рациональные условия конструирования поверхностей нагрева, данные проиллюстрированы графическими зависимостями.

Ключевые слова: *теплогенераторы малой мощности, режимы работы, теплообмен.*

Особенности процессов теплопереноса в поверхностях нагрева теплогенераторов малой мощности связаны как с геометрическими факторами, так и с режимами эксплуатации по сравнению с более мощными котлами. Так, уменьшение геометрических размеров топки приводит к росту соотношения площади ее поверхности к объему пропорционально характерному размеру, что приводит к росту удельных тепловых напряжений поверхностей нагрева $Q_{\text{л}}/H$ (кВт/м²), при тех же условиях сжигания топлива [1;2] по величине удельного теплового напряжения топочного объема $Q_{\text{л}}/V_{\text{т}}$ (кВт/м³). Более напряженные условия работы тепловоспринимающих поверхностей нагрева водогрейных котлов обуславливают высокие требования к качеству теплоносителя и гидравлическим условиям эксплуатации, которые существенно отличаются от характеристик мощных водогрейных котельных агрегатов [2;3].

Вследствие этого сопоставление указанных характеристик представляет интерес для теплогенераторов малой мощности различных типов, оценка соотношения которых приведена ниже.

Таблица – Выборочные характеристики котлов

Характеристика котла	Скоростные проточные (в т.ч. настенные термоблоки)	Водотрубные	Стальные жаротрубные	Чугунные секционные	Трубопроводы системы теплоснабжения
Металлоемкость, кг/кВт:	0,7 ÷ 1,5	2 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0	4 ÷ 8	-
Объем воды, л/МВт:	30 ÷ 50	150 ÷ 250	650 ÷ 1500	800 ÷ 2000	-
Скорость теплоносителя, м/с:	1,5 ÷ 2,5	1 ÷ 2	0,02 ÷ 0,03	0,02 ÷ 0,05	1,5 ÷ 2,8 (1 ÷ 1,3 в коллекторах)

Значительный разброс значений, указанных в таблице, объясняется их зависимостью от мощности теплогенератора, в частности с повышением мощности понижается металлоемкость котла.

Изучение отечественного и зарубежного опыта проектирования теплогенераторов малой мощности, предоставляет возможность определить перспективные направления развития конструкций теплогенераторов и предложить несколько рекомендаций по проектированию. К примеру, в зарубежной практике, для получения максимальной эффективности и надежности работы теплогенераторов и их элементов главным фактором является соблюдение необходимых соотношений между площадями поверхностей нагрева: радиационной и конвективной.

В современных конструкциях чугунных секционных котлов соотношение $H_{\text{л}}/H_{\text{к}}$ в большинстве случаев равно 1:4; 1:3, иногда 1:1 и более. Значения средних тепловых напряжений поверхностей нагрева можно определить по этим соотношениям, они равны соответственно 13.8; 21.5...43 кВт/м².

Более выражена данная тенденция для стальных котлов, что дает возможность значительно усилить тепловые процессы до значений теплосъемов 50...60 кВт/м², при этом необходимо отметить, что это возможно только лишь в механизированных и крупных котлах.

В определенном количестве работ отмечается гораздо более теплонапряженная работа радиационных поверхностей нагрева по сравнению с конвективными. Для увеличения долговечности и надежности теплогенераторов необходимо уменьшить разницу между тепловыми нагрузками на эти элементы котла[1;4]. Также и при проектировании теплогенераторов малой мощности главным является обоснование оптимального соотношения поверхностей нагрева теплогенератора.

Для этой цели основываясь на полученные в результате эксперимента данные по теплообмену, в полностью экранированных топках теплогенераторов малой мощности при работе на природном газе низкого давления проведено исследование работы топочной камеры и конвективной части теплогенератора при различных соотношениях их поверхностей.

Режимные параметры работы принимались характерными для теплогенераторов децентрализованного теплоснабжения [2;5]. Основным условием исследования был подбор для переменных размеров топки (в виде цилиндрической поверхности диаметром 240 мм и переменной длины) соответствующей конвективной поверхности в виде 12 дымогарных труб внутренним диаметром 20 мм для поддержания постоянной температуры газов на выходе $t_{\text{yx}} = 220 \pm 30$ °С при постоянной мощности теплогенератора.

Сравнение полученных результатов производилось при работе с постоянным тепловыделением в топке $Q_{\text{т}} = 15.8$ кВт и соответствующим тепловым напряжением топочного объема.

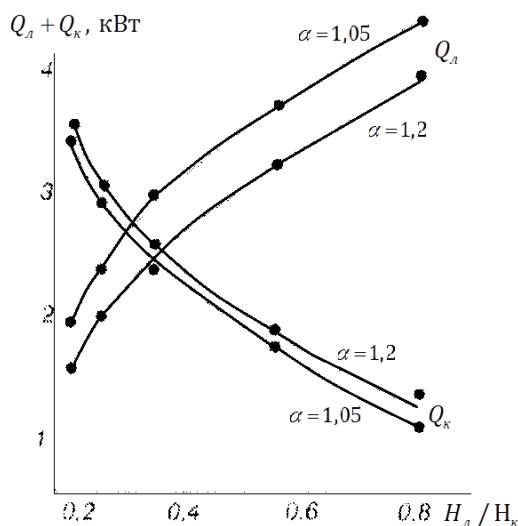


Рис. 1 - Тепловосприятие радиационной $Q_{\text{л}}$ и конвективной $Q_{\text{к}}$ поверхностей теплогенератора при изменении их соотношения

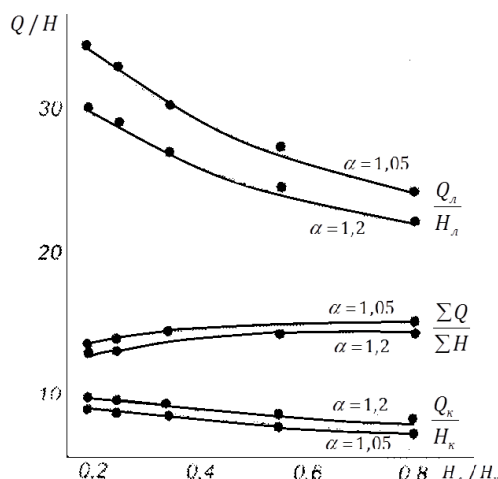


Рис. 2 - Тепловое напряжение радиационной Q_r/H_r , конвективной Q_k/H_k и полной поверхности нагрева $\Sigma Q / \Sigma H$ при изменении соотношения площадей поверхностей H_r/H_k

Полное тепловосприятие поверхностей нагрева определялось для коэффициентов избытка воздуха $\alpha = 1.05$ и $\alpha = 1.2$ соответственно составляло $\Sigma Q = (14.6 \pm 6\%)$, кВт и $\Sigma Q = (14.1 \pm 6\%)$ кВт.

Полное тепловосприятие радиационной и конвективной поверхностей теплогенераторов в исследованном интервале геометрических и параметрических характеристик могут быть соизмеримыми (рис. 1), и иметь близкие значения при отношении поверхностей нагрева теплогенератора в диапазоне $H_r/H_k = 0.29...0.35$. Значение последней величины будет определяться для одного и того же топлива режимными параметрами работы, так с увеличением α уменьшается Q_r , это объясняется изменением условий горения - понижением теоретической температуры горения и разбавлением уходящих газов избыточным воздухом. В связи с увеличением скорости газового потока в конвективных поверхностях с увеличением α повышается Q_k , даже несмотря на снижение температуры газов на выходе из топки.

При увеличении радиационной поверхности нагрева происходит уменьшение Q_k и увеличение Q_r , при этом с тепловым напряжением поверхностей нагрева теплогенератора Q_r/H_r и Q_k/H_k произойдут одинаковые по характеру изменения, т.е. уменьшаются (рис. 1, рис. 2).

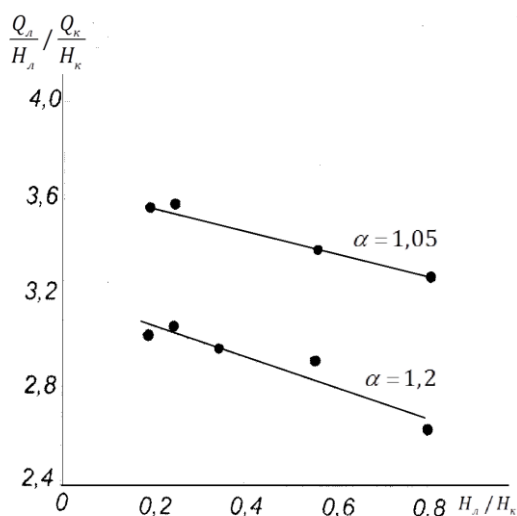


Рис. 3 – Относительное удельное тепловое напряжение радиационной Q_r/H_r и конвективной Q_k/H_k поверхностей нагрева при изменении площадей этих поверхностей

С увеличением площади топки ее тепловосприятие значительно увеличивается по отношению к тепловосприятию конвективной части, при том что отношение тепловых напряжений поверхностей нагрева $\frac{Q_{\text{л}}}{H_{\text{л}}} / \frac{Q_{\text{к}}}{H_{\text{к}}}$ остается во всех случаях больше единицы (при $\alpha = 1.05$ $Q_{\text{л}}/H_{\text{л}}$ больше $Q_{\text{к}}/H_{\text{к}}$ в 3.3...3.6 раза, при $\alpha = 1.2$ — в 2.6...3.1 раза), а с увеличением поверхности топки уменьшается (рис. 3). Во всем диапазоне исследования (рис. 2) среднее тепловое напряжение полной поверхности нагрева теплогенератора $\sum Q / \sum H$ незначительно увеличивается (около 10%), что можно объяснить более резким понижением среднего теплового напряжения радиационной поверхности нагрева $Q_{\text{л}}/H_{\text{л}}$, чем соответствующей величины $Q_{\text{к}}/H_{\text{к}}$ конвективной поверхности для рассматриваемого теплогенератора. Последний результат обусловлен наиболее эффективной работой начального участка конвективной поверхности, даже при некотором снижении температуры на выходе из топки.

В исследованном диапазоне изменения геометрических параметров при увеличении радиационной поверхности, уменьшаются общая и конвективная тепловоспринимающие поверхности нагрева. Соответствующее увеличение объема топки оказывает положительное влияние на процессы смесеобразования и горения в полностью экранированных топках. Дополнительно отмечая более высокую стоимость и металлоемкость конвективных поверхностей теплогенератора при проектировании необходимо принимать ее минимальной, исходя из конструктивных особенностей, обусловленных функциональным назначением теплогенератора, и требуемым значением температуры уходящих продуктов сгорания.

Полученные выводы обоснованы только для рационально организованных процессов сжигания топлива и для теплогенераторов с соответствующим для данного вида топлива количеством загрязнений на поверхностях нагрева [2;5].

В экспериментах для более и менее интенсивных тепловых режимов работы теплогенераторов при сжигании твердого и жидкого топлива были получены примерно идентичные результаты. При этих условиях необходимо учитывать, что произойдут определенные количественные в полученных зависимостях.

Список литературы

1. *Хаванов П.А.* Теплотехнические особенности применения водогрейных котлоагрегатов малой мощности. // Вестник МГСУ 2011 № 7, с. 429-436.
2. *Братенков В.Н., Хаванов П.А., Вескер Л.Я.* «Теплоснабжение малых населенных пунктов». – М6 Стройиздат, 1988 г., 223 с.
3. СП 41-104-2000 Проектирование автономных источников теплоснабжения. –М: Госстрой России 2001.
4. *Оцисик М.Н.* Сложный теплообмен. – М: МИР. 1976. – 615 с.
5. *Хаванов П.А., Харламова Н.А.* «Принципиальные моменты при разработке тепломеханической части автономных теплогенерирующих установок». «Научное обозрение», № 5, 2012 г., стр. 297-300.

05.23.17

М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк

Московский государственный строительный университет,
кафедра прикладной механики и математики, Москва, mcsxmgusu@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИИ

В работе представлены результаты исследования тонких закономерностей формирования нагрузок на строительные конструкции. В качестве иллюстрации широкого спектра полученных результатов рассматриваются неизвестные ранее в различных разделах технической механике квантовые эффекты. Основное внимание в статье уделяется квантовым эффектам разрушения материалов и квантовым закономерностям формирования экстремальных ветровых нагрузок.

Ключевые слова: *нелинейные закономерности, квантовые эффекты, прочность материалов, порывы ветра*

Введение. В различных областях технической физики (исключая атомную и ядерную физику) наблюдается исключительное доминирование инструментария классической механики. Это обстоятельство является одной из острейших проблем эффективности прикладных исследований в области высоких (тонких) технологий. Эти проблемы приобретают особую актуальность как в связи с глобальным изменением климата [1,2,3,4], так и проектной оценкой скорости износа строительных конструкций [5]. Вместе с тем в целом ряде приложений, включая нанонауку и нанотехнологии, физику прочности, аэродинамику и динамическую устойчивость конструкций, применение квантовых закономерностей позволило бы существенно повысить результативность прикладных исследований. В значительной степени это связано с отсутствием до последнего времени исследований малоизученных ранее проявлений квантовых закономерностей и эффектов в макропроцессах

В настоящей статье представлены результаты исследований авторов, направленные на поиск неизвестных ранее проявлений тонких закономерностей разрушения строительных материалов и формирования нагрузок и воздействий на здания и сооружения, включая проявления квантовых эффектов в макропроцессах.

В качестве базовых методов в исследованиях использовались как инструменты статистической физики, так и динамики решетки из физики твердого тела. В качестве объектов исследования были выбраны метеорологические явления и классические опыты в области физики прочности.

Исследование тонких закономерностей разрушения материалов. В качестве наглядного примера исследуем противоречие между теоретической и экспериментальной оценкой прочности кристаллов NaCl, которая оказалась более чем на три порядка меньше теоретической оценки. Предположим, что реальная прочность NaCl ограничена нанометрическими дефектами (вакансиями) на поверхности кристалла.

Рассмотрим схему разрывного нагружения силой F кубического кристалла NaCl (рис.1а) на пружинной модели его внутренней структуры на рис.1б, где λ отмечено расстояние между соседними атомами решетки.

Так как до разрушения любой ион кристалла массой m_k имеет основную частоту колебаний в направлении разрыва

$$\omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (1)$$

где $k = C\lambda$, а C - модуль Юнга вдоль оси растяжения кристалла.

После разрушения жесткость связи иона на поверхности разрыва уменьшается вдвое, в связи с чем, основная частота уменьшается до значения

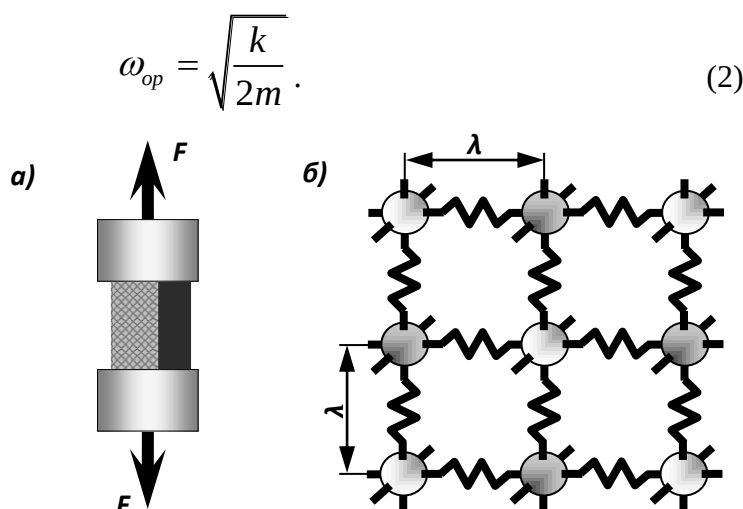


Рис. 1- Схема разрывного нагружения (а) кубического кристалла и «пружинная» модель его внутренней структуры (б)

Откуда следует, что собственная частота вертикального осциллятора уменьшается на величину

$$\Delta\omega_o = \omega_o - \omega_{op} = \frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (3)$$

Определим энергетическую связь между квантовым разрывом ячейки по вертикальной связи и упругой энергией E_y , накопленной в ней за счет работы сил растяжения вплоть до момента разрушения

$$E_y = \frac{\sigma_B^2 \lambda^3}{2C} = \frac{\hbar \Delta\omega_o}{2}, \quad (4)$$

откуда значение постоянной Планка оказывается равным справочному значению постоянной Планка

$$\hbar = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}-1} \frac{\sigma_B^2 \lambda^{5/2} m^{1/2}}{2C^{3/2}} = 1,1 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сек}, \quad (5)$$

где σ_B - удельная прочность материала.

Исследование ветровых нагрузок. Согласно основополагающему закону квантовой механики для изменения параметров движения микрочастицы (в данном случае, молекулы атмосферы) ей необходимо придать момент импульса, равный постоянной Планка $\hbar = 1,054571726 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$. Тогда, для возбуждения порыва ветра каждой молекуле воздуха, участвующей в формировании порыва ветра, необходимо дополнительно придать момент импульса ΔH_m , равный постоянной Планка, то есть

$$\Delta H_m = m_m \Delta V_m r_{mm} = \hbar, \quad (6)$$

где $m_m, \Delta V_m, r_{mm}$ - соответственно, масса молекулы, приращение скорости молекулы и расстояние между молекулами.

Статистическое распределение порывов ветра по скоростям должно иметь «гребенчатый характер», то есть

$$n \Delta V_m = \frac{n \hbar}{m_m r_{mm}}, \quad (7)$$

где n – номер «всплеска или гребня» графика зависимости статистической частоты реализации порывов ветра от скорости.

Для верификации квантовых закономерностей авторами были проведены статистические исследования распределения событий возбуждения порывов по скоростям ветра [6]. На рис.2

приведена типовая для всех районов Земли диаграмма зависимости скоростей формирования порывов ветра от условного номера n пика $V(n)$ их статистического распределения.

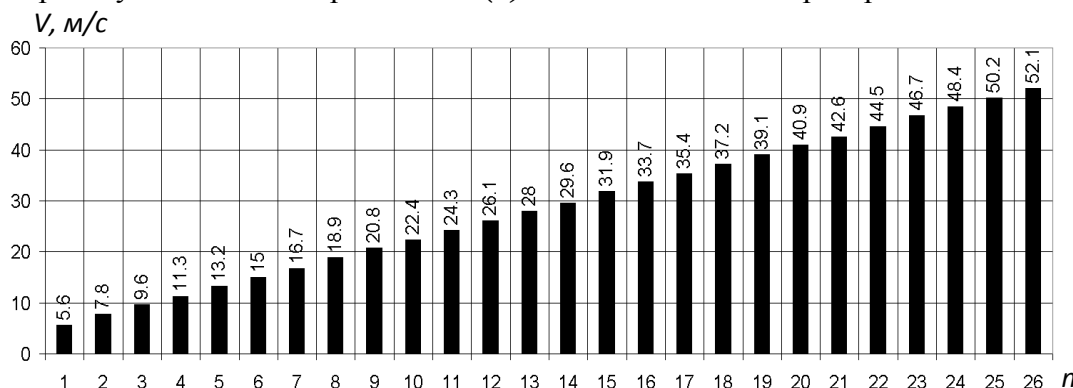


Рис.2- Типовая диаграмма зависимости скоростей формирования порывов ветра от условного номера пика функции $V(n)$ их статистического распределения

В соответствии с этой диаграммой приращение скорости $\Delta V(n)$ между статистическими пиками формирования порывов ветра составляет 1,86 м/с с погрешностью по всем исследованным городам планеты не более 5%.

Рассмотренные исследования выполнялись при поддержке Министерства образования и науки РФ (Задание №2014/107 в рамках выполнения НИР «Разработка теоретических основ устойчивости зданий и сооружений в условиях природных, техногенных, и комбинированных воздействий»).

Заключение. В результате исследований авторам доклада удалось установить неизвестные ранее проявления квантовых закономерностей как в макропроцессах разрушения ионных кристаллов, так и в формировании порывов ветра.

Результаты исследований позволили установить наличие квантовых закономерностей в реализации макропроцессов, которые, на первый взгляд, выходят далеко за пределы возможностей квантового подхода.

Это позволяет рекомендовать использование «квантового подхода» при выполнении прикладных исследований и разработке высоких технологий, в исследованиях аспирантов и докторантов, а также в курсах лекций и в лабораторных работах по общей физике и технической механике.

Список литературы

1. Hilborn, Robert C. Sea gulls, butterflies, and grasshoppers: A brief history of the butterfly effect in nonlinear dynamics./American Journal of Physics 72 (4): p.p.425–427.// DOI:10.1119/1.1636492.Bibcode:2004AmJPh..72..425H.
2. Climate Change 2013. The Physical Science Basis/Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. –UK.: Cambridge University Press, 2013, pp.1536
3. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. . –UK.: Cambridge University Press, 2012, pp.582
4. Graham Pearson. Water-rich gem points to vast 'oceans' beneath the Earth./Nature paper: dx.doi.org/10.1038/nature13080
5. Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Метод и алгоритм оценки снижения остаточного ресурса надежности элементов строительных конструкций зданий и сооружений. –М.: АСВ, Вестник МГСУ, №2, том 2, с.196-201
6. Hlystunov M.S., Prokopjev V.I. and Mogiljuk Zh.G. Quantum Regularities of Shock Wind Processes Formation. World Applied Sciences Journal, ISSN / E-ISSN: 1818-4952 / 1991-6426, 2013, №26(9) p.p.1219-1223

05.26.02

М.С. Хлыстунов, В.И. Прокопьев, Ж.Г. Могилюк

Московский государственный строительный университет,
кафедра прикладной механики и математики, Научно-исследовательский институт
экспериментальной механики, Москва, mcxmgstu@mail.ru

ВЕРИФИКАЦИЯ КВАНТОВЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРЫВОВ ВЕТРА В ЛОНДОНЕ

В статье представлены результаты фундаментальных исследований нелинейных закономерностей формирования порывов ветра в Лондоне. Целью представленного в статье исследования был поиск неизвестных ранее проявлений квантовых эффектов в макропроцессах. В качестве базового метода в исследованиях использовались инструменты статистической физики. В результате исследований авторам доклада удалось установить неизвестные ранее проявления квантовых закономерностей в формировании порывов ветра.

Ключевые слова: ветровые нагрузки, скорость ветра, возбуждение, квантовые закономерности.

Введение. Согласно последнему докладу межправительственной группы ООН по изменению климата (IPCC) [1,2] практически все государства планеты не готовы к предупредительным мерам по адаптации жизненно важных отраслей экономики и населения к глобальному изменению климата. Взаимосвязь этой проблемы со строительной деятельностью и ее острота следует из прямой зависимости проектных решений, например, в 2014 году, от оценки рисков глобального изменения климата на глубину градостроительного планирования или на срок жизни строительных объектов и долгосрочность инвестиций, которые, как правило, достигают 100 лет и более [3]. То есть до 2114 года и далее.

В связи с этим, особый интерес для авторов представляет теория принципиальной нелинейности погоды Эдварда Лоренца о рисках порождения ураганов локальными аэродинамическими микропроцессами [4,5]. Однако проведенные ранее статистические исследования ветра, например в работе [6], не дают новых знаний для тонкого анализа причинно-следственных связей возбуждения экстремальных ветровых процессов, например, порывов ветра.

В связи с этим авторы исследовали возможность проявления квантовых закономерностей в формировании порывов ветра в Лондоне.

Формулировка квантовой гипотезы. Согласно основополагающему закону квантовой механики для изменения параметров движения молекулы атмосферы ей необходимо придать момент импульса ΔH_m , равный постоянной Планка, то есть

$$\Delta H_m = m_m \Delta V_m r_{mm} = \hbar, \quad (1)$$

где $m_m, \Delta V_m, r_{mm}$ - соответственно, масса молекулы, приращение скорости молекулы и расстояние между молекулами.

В случае верности гипотезы статистическое распределение порывов ветра по скоростям должно иметь «гребенчатый характер», то есть

$$n \Delta V_m = \frac{n \hbar}{m_m r_{mm}}, \quad (2)$$

где n – номер «всплеска или гребня» графика зависимости статистической частоты реализации порывов ветра от скорости.

Верификация квантовой гипотезы. В качестве базового массива для статистического анализа были использованы данные метеонаблюдений в Лондоне за период с 01.01.1973 по 31.08.1987 (5355 суток=14,66 лет), а в качестве массива данных о текущем состоянии метеорологических процессов – данные аналогичных метеонаблюдений за период с 01.01.1995 по 31.08.2009 (5355 суток=14,66 лет). В результате анализа был получен

фактически линейчатый характер статистического распределения порывов ветра по скоростям (м/с), для обоих периодов наблюдения, например как показано для второго периода на рис. 1. Результаты анализа характера статистического распределения порывов ветра по скоростям для обоих периодов наблюдения позволяют установить зависимость скоростей формирования порывов ветра от номера пика $V(n)$ их статистического распределения (см. рис.2).

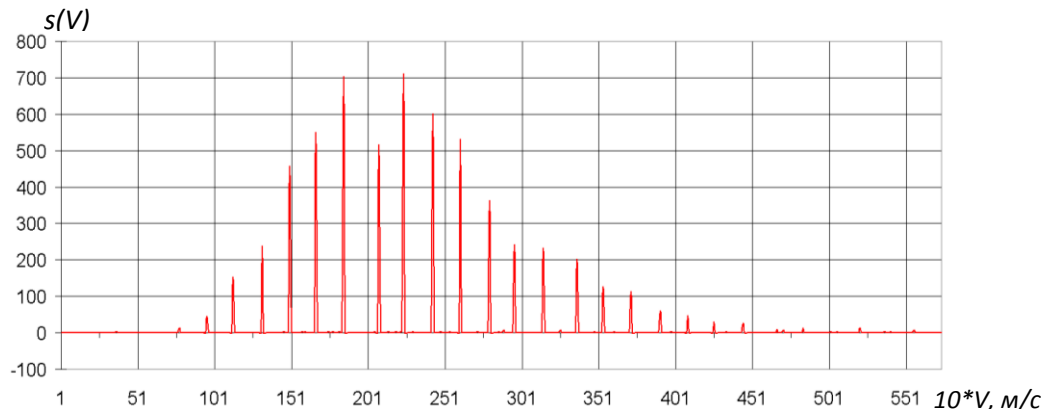


Рис.1- График зависимости количества порывов ветра в Лондоне от скорости ветра (м/с) в период с 01.01.1995 по 31.08.2009 (разрешение $dV=0,1$ м/с):

Начало нумерации пиков в данном случае было выбрано условно. Точные значения скоростей (м/с) пиков указаны над соответствующим столбцом диаграммы на рис.2.

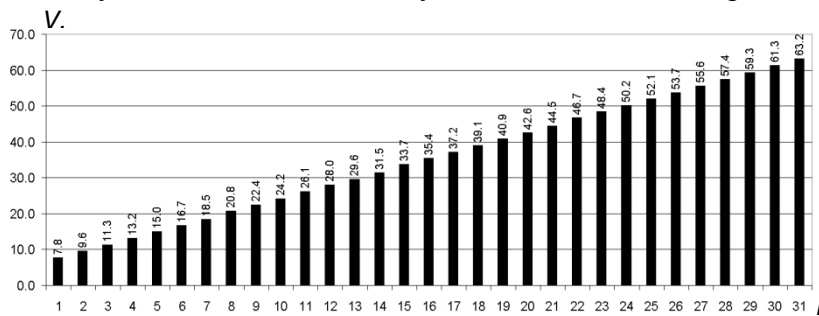


Рис.2- Диаграмма зависимости скоростей формирования порывов ветра от условного номера пика $V(n)$ их статистического распределения в Лондоне

В соответствии с диаграммой на рис.2 приращение скорости между пиками формирования порывов ветра составляет (в среднем)

$$\Delta V = \frac{V_{31} - V_1}{30} = \frac{63,2 - 7,8}{30} = 1,846 \text{ м / с} . \quad (3)$$

По аналогии с расчетами (1) и (2), используя полученное (3) значение для среднего приращения скорости между соседними пиками распределения порывов ветра по скоростям формирования, вычислим момент импульса, необходимый для формирования порыва ветра как в единице объема сухого чистого воздуха, так и для одной молекулы:

$$\bar{K} = \Delta V_s \rho_o r_{mmo} = 1,846 \frac{\text{м}}{\text{с}} \times 1,228 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \times 1,025 \times 10^{-9} \text{ м} = 2,32 \times 10^{-9} \text{ Дж} \times \text{с} . \quad (4)$$

Откуда момент импульса в среднем на одну молекулу будет составлять

$$\bar{k} = \frac{\bar{K}}{N} = \frac{2,32 \times 10^{-9}}{2,07689 \times 10^{25}} \text{ н} \times \text{с} \times \text{м} = 1,12 \times 10^{-34} \text{ Дж} \times \text{с} . \quad (5)$$

Таким образом полученный момент импульса превышает значение постоянной Планка не более, чем на 5,8%:

$$\frac{\Delta \bar{k}}{\bar{k}} \times 100\% = \frac{\bar{k} - \hbar}{\bar{k}} \times 100\% = \frac{1,12 \times 10^{-34} - 1,054571726 \times 10^{-34}}{1,12 \times 10^{-34}} \times 100\% = +5,8\% . \quad (6)$$

Данное превышение значения постоянной Планка вполне объяснимо и является следствием колебаний температуры, влажности и концентрации аэрозолей в разные сезоны и периоды суток метеорологических наблюдений.

Заключение. Проблема роста рисков аварий строительных конструкций зданий и сооружений, как в России, так и за рубежом, существенно обостряется не прогнозируемым ранее ростом амплитуды колебаний мощности аэродинамических процессов.

Эта проблема, как в России, так и за рубежом, существенно обостряется не прогнозируемым ранее ростом интенсивности и иных, аварийно опасных техногенных и природных климатических и геолого-геофизических процессов и факторов, которые являются причиной реализации новых и, как следствие, ненормированных комплексных сверхпроектных нагрузок и воздействий на объекты техносферы.

Поэтому новые знания о механизмах возбуждения экстремальных значений ветровых нагрузок важны для обеспечения безопасности на урбанизированных территориях.

Фундаментальные квантовые закономерности формирования порывов ветра в Лондоне имеют глобальный характер и были также исследованы и верифицированы авторами [7] в других городах на разных континентах планеты, в том числе, в Анкоридже, Москве, Ниамее, Нью-Йорке и Токио.

Эти исследования выполнялись при поддержке Министерства образования и науки РФ (Задание №2014/107 в рамках выполнения НИР «Разработка теоретических основ устойчивости зданий и сооружений в условиях природных, техногенных, и комбинированных воздействий»).

Список литературы

1. Climate Change 2013. The Physical Science Basis/Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. –UK.: Cambridge University Press, 2013, pp.1536
2. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. . –UK.: Cambridge University Press, 2012, pp.582
3. *Теличенко В.И., Хлыстунов М.С., Завалишин С.И.* Глобальные риски и новые угрозы безопасности ответственных строительных объектов мегаполиса./ Сборник докладов Тематической научно-практической конференции «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан». Часть 1. В рамках Научно-технического конгресса по безопасности "Безопасность - основа устойчивого развития регионов и мегаполисов". –М.:МГСУ, 2005, с.
4. *Hilborn, Robert C.* Sea gulls, butterflies, and grasshoppers: A brief history of the butterfly effect in nonlinear dynamics./American Journal of Physics, 72 (4): p.p.425–427.// DOI:10.1119/1.1636492. Bibcode:2004AmJPh..72..425H.
5. *Хлыстунов М.С., Подувальцев В.В., Завалишин С.И.* Космогенные процессы деградации геотехнической надежности промышленных объектов и техносферы мегаполисов./ IV Всероссийская научная конференция «Физические проблемы экологии (Экологическая физика)». Сб. трудов. –М.: ИПМ РАН –МГУ им.Ломоносова М.В., 2004,
6. *Ломакина Н.Я.* Объективная классификация и статистическое моделирование метеорологических полей в пограничном слое атмосферы для Западной Сибири : диссертация кандидата физико-математических наук : 25.00.29 / Ломакина Наталья Яковлевна; [Место защиты: Ин-т оптики атмосферы СО РАН]. - Томск, 2008. - 156 с. : ил. РГБ ОД, 61:08-1/348
7. *Hlystunov M.S., Prokopjev V.I. and Mogiljuk Zh.G.* Quantum Regularities of Shock Wind Processes Formation. World Applied Sciences Journal, ISSN / E-ISSN: 1818-4952 / 1991-6426, 2013, №26(9) p.p.1219-1223

05.17.08

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.С. Доровских, В.А. Нестеров

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Бийск, shalunov@bti.secna.ru

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ АНТИКОАГУЛЯНТА В ПРОБИРКИ ДЛЯ ЗАБОРА КРОВИ

В статье приводятся результаты исследований по выбору оптимальных режимов (частота и амплитуда) ультразвукового (УЗ) воздействия при распылении антикоагулянтов для обеспечения требуемого диаметра получаемых капель и производительности, необходимых при проектировании УЗ распылителей.

Ключевые слова: ультразвук, распыление, оптимальные режимы, антикоагулянт, пробирка для забора крови.

В настоящее время для сбора, хранения и транспортировки образцов крови, необходимых для проведения гематологических исследований, используются вакуумные пробирки с определенными добавками – антикоагулянтами, которые препятствуют свертыванию крови. При этом возникает задача равномерного нанесения на внутреннюю поверхность пробирки строго дозированного количества антикоагулянта, поскольку несоответствие концентрации антикоагулянта объему взятой крови, а также недостаточно тщательное его смешивание с кровью приводят к значительным ошибкам в процессе исследования [1].

Технологически задача нанесения антикоагулянта решается путем его распыления во внутренний объем пробирки. Однако широко используемые способы распыления (гидравлическое, механическое, пневматическое и электростатическое) обладают недостатками, приводящими к появлению брака, заключающегося в неравномерности напыления и осыпании высушенных кристаллов антикоагулянта со стенок пробирок. Это обуславливает необходимость поиска новых способов распыления жидкостей, лишенных указанных недостатков, например, за счет использования энергии ультразвуковых (УЗ) колебаний. Однако данный способ распыления характеризуется сильной зависимостью дисперсных характеристик формируемых капель и производительности от свойств жидкости и параметров УЗ колебаний [2].

Настоящая работа направлена на выбор оптимальных режимов УЗ воздействия (частота и амплитуда) на распыляемый антикоагулянт в зависимости от его свойств для обеспечения заданных диаметра капель и производительности распыления. Для этого необходимо проанализировать механизм кавитационного образования капель жидкости с использованием метода математического моделирования [3].

Амплитуда звукового давления на распыляющей поверхности определяется как:

$$|P(0)| = \rho \omega^2 A_0 h, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; ω – круговая частота акустических колебаний, с⁻¹; A_0 – амплитуда колебаний поверхности распылителя, мкм; h – толщина слоя распыляемой жидкости, мкм.

Для определения радиуса кавитационного пузырька используется уравнение Кирквуда–Бете [4]:

$$R \left(1 - \frac{R}{C} \right) \frac{\partial^2 R}{\partial t^2} + \frac{3}{2} \left(1 - \frac{R}{3C} \right) \left(\frac{\partial R}{\partial t} \right)^2 = \left(1 + \frac{R}{C} \right) H + \frac{R}{C} \left(1 - \frac{R}{C} \right) \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (2)$$

где C – локальная скорость звука в жидкости, м/с; R – радиус пузырька, м; H – энтальпия жидкости, кДж/моль [2]:

$$H = \frac{n}{n-1} \frac{(p_0 + B)^{\frac{1}{n}}}{\rho_0} \cdot \left[\left(p_0 - \rho_0 \omega^2 A h \sin(\omega t) + B \right)^{\frac{n-1}{n}} - \left(p_{co} \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} - \frac{2\sigma}{R} - \frac{4\mu}{R} \frac{\partial R}{\partial t} + P_n + B \right)^{\frac{n-1}{n}} \right], \quad (3)$$

где n – постоянная, равная 7; B – постоянная, равная $3000 \cdot 10^5$ Па; p_0 – равновесное давление жидкости, Па; p_{co} – равновесное давление газа, Па; R_0 – радиус кавитационного зародыша, м; μ – динамическая вязкость, мПа·с; P_n – давление насыщенных паров, Па; t – время с начала воздействия, с; σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Дж/м²; γ – показатель адиабаты для воздуха.

Амплитуда давления ударной волны, образующейся при захлопывании кавитационного пузырька, определяется как:

$$P_m = \frac{\rho_0 c^2}{\sqrt{2}} \sqrt{\theta \frac{c P_1 R_{\min}}{B(n-1)}} \cdot \frac{1}{h \ln(h/R_{\min})}, \quad (4)$$

где θ – время схлопывания кавитационного пузырька, с; P_1 – максимальное давление при захлопывании кавитационного пузырька, Па; $R_{\min}$ – минимальный радиус кавитационного пузырька при захлопывании, м.

Профиль капиллярной волны определяется с учетом длины и амплитуды волны:

$$\xi(x, t) \approx A \sin(\omega t) \left(\cos(kx) - \left(\frac{Ak}{3} \cos(2kx) + 2Ak \right) \cos(\omega t) \right), \quad (5)$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число капиллярной волны, м⁻¹; A – амплитуда капиллярной волны, м; λ – длина капиллярной волны, м.

Диаметр капель определяется средней толщиной гребня капиллярной волны согласно теории распада струй Релея [3]:

$$D = 3,78 \frac{\frac{\lambda}{2} \int_0^{\frac{\lambda}{2}} \left(\xi(x) - \xi\left(\frac{\lambda}{2}\right) \right) dx}{\xi(0) - \xi\left(\frac{\lambda}{2}\right)}, \quad (6)$$

Помимо диаметра капель важным параметром процесса УЗ распыления является производительность:

$$\Pi = V f N_S = a \frac{\lambda^2 A}{2\pi} \left(\frac{\pi^2}{2} - 2 \right) f N_S, \quad (7)$$

где V – количество жидкости, перешедшее в капли с одной капиллярной волны; N_S – количество кавитационных пузырьков; a – коэффициент, учитывающий долю объема капиллярной волны, распадающейся на капли.

На основании полученных выражений были определены параметры УЗ воздействия для распыления наиболее распространенного антикоагулянта, который представляет собой раствор К₂ЭДТА (*кальция этилендиаминтетраацетат*) в воде. Вязкость 15%-го раствора антикоагулянта составляет 3-4 мПа·с. Оптимальная концентрация солей ЭДТА в сухом виде – 1,5...2,2 мг / 1 мл крови, в растворе – 1 мкл 15%-ного раствора К₂ЭДТА на 1 мл крови [1].

Согласно работам [2, 3, 5], для обеспечения равномерного покрытия внутренней поверхности пробирки раствором антикоагулянта толщиной 1-10 мкм требуется средний диаметр капель 50-60 мкм.

Поскольку необходимый диаметр капель обеспечивают путем выбора частоты УЗ колебаний, то на основании представленной модели были получены зависимости диаметра формируемых капель от частоты УЗ воздействия при минимальной амплитуде колебаний (рисунок 1 а). Как следует из рисунка 1 а, для обеспечения заданного диаметра капель необходимо выбрать рабочую частоту УЗ распылителя равной 44 кГц.

Производительность напыления антикоагулянта в пробирки определяется по следующей формуле:

$$П = n \cdot C \cdot V = n \cdot S \cdot b, \quad (8)$$

где n – необходимое количество напыляемых пробирок, шт / ч; C – концентрация раствора антикоагулянта в пробирке, мл / 1 мл крови; V – объем забираемой крови в одну пробирку, мл; S – площадь поверхности, покрытой антикоагулянтом, м^2 ; b – толщина покрытия, м.

Величина S определяется размерами пробирки и высотой покрытия от дна пробирки, которая зависит от объема взятой пробы крови V .

При $n = 15000$ шт/ч, $C = 0,001$ мл / 1 мл крови и $V = 1$ мл производительность, с учетом выражения (9), составит около 8 мкл/с.

Амплитуда колебаний выбирается с учетом требуемой производительности распыления. Для обеспечения требуемой производительности 8 мкл/с при заданной частоте распыления 44 кГц, используя полученные зависимости (рисунок 1 б), амплитуда колебаний составляет 5 мкм.

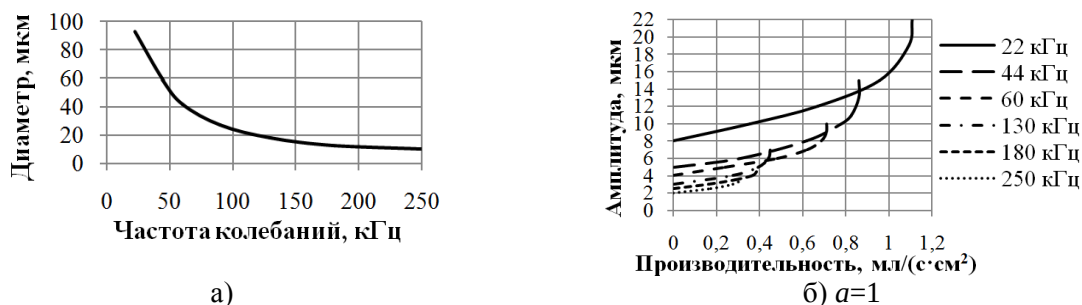


Рис. 1 – Зависимость диаметра капель от частоты (а) и амплитуды колебаний от производительности распыления (б)

Определив значение амплитуды колебаний для обеспечения требуемой производительности необходимо уточнить значение диаметра формируемых капель при заданной частоте и вязкости с использованием полученных зависимостей, показанных на рисунке 2.

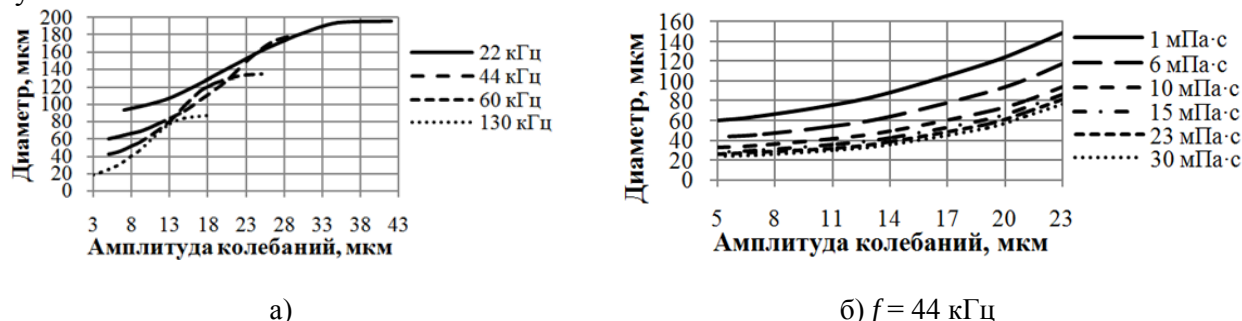


Рис. 2 – Зависимость диаметра капель от амплитуды УЗ колебаний при различной частоте (а) и вязкости (б)

Из рисунка 2 а следует, что при заданной частоте распыления 44 кГц и амплитуде колебаний 5 мкм диаметр капель составляет 60 мкм. Однако наличие вязкости антикоагулянта $\mu = 3$ мПа·с приводит к уменьшению диаметра получаемых капель до 50 мкм (рисунок 2 б).

Таким образом, проведенные теоретические исследования позволили определить параметры УЗ воздействия, обеспечивающие формирование капель антикоагулянта с требуемым диаметром и производительностью.

Полученные зависимости могут быть использованы для определения необходимой частоты и амплитуды УЗ воздействия при разработке распылителей различных антикоагулянтов.

Работа выполнена при поддержке индивидуального гранта по программе «УМНИК-2014» (договор №2086 ГУ1/2014).

Список использованных источников

1. Луговская С.А. Лабораторная гематология [Текст] / С.А. Луговская, В.Т. Морозова, М.Е. Почтарь, В.В. Долгов – М.: Юнимед-пресс, 2006. – 228 с.
2. Ультразвуковое распыление жидкостей [Текст] / В. Н. Хмелёв, А. В. Шалунов, А. В. Шалунова. – Барнаул АлтГТУ, 2010. – 272 с.
3. Хмелев В.Н. Оптимизация методом математического моделирования режимов ультразвукового воздействия на различные технологические среды / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых // Южно-Сибирский научный вестник. – 2012. – № 2(1). – С. 20–24. Хмелев, В. Н.
4. Розенберг, Л.Д. Физика и техника мощного ультразвука. В 3 т. Т. 3. Физические основы ультразвуковой технологии [Текст] / под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1970. – 685 с.
5. Хмелев В.Н. Измерение размеров капель жидкости, получаемых при различных режимах работы ультразвуковых распылителей / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.В. Шалунова, Р.Н. Голых, Д.В. Генне // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3(2). – С. 179–184.

05.23.05

Г.Я. Чернобровкин, И.А. Ефанова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени
М.И. Платова, строительный факультет, г.Новочеркасск, g.chernobrovkin@mail.ru

Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт факультет техники и
современных технологий, г. Невинномысск, efanova.ira@list.ru

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ГИПСОЛИТОВЫХ БЛОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЫ-УНОС НЧГРЭС

В работе рассмотрены составы и технология изготовления гипсолитовых блоков с введением золы-уноса Новочеркасской ГРЭС для улучшения физико-механических характеристик изделий на гипсовом вяжущем, а также для сокращения расхода гипса.

Ключевые слова: зола-унос, зологипс; структурообразование, прочность.

При производстве строительных материалов и изделий наряду с цементными вяжущими применяются и гипсовые, которые используются как в смеси с отдельными видами, так и самостоятельно. На основе гипсовых вяжущих изготавливаются изделия и конструкции для внутренних перегородок зданий: блоки, камни, панели, плиты.

Гипсолитовые изделия и конструкции, применяемые в промышленном и гражданском строительстве имеют ряд серьезных недостатков. Большой расход гипса, низкая водостойкость, полное разрушение при эксплуатации во влажных условиях. При эксплуатации во влажных условиях, вследствие растворения двугидрата и разрушения кристаллического сростка, изделия из гипса значительно снижают свои прочностные показатели.

Введение золы-уноса Новочеркасской ГРЭС частично компенсирует указанные недостатки. Значительно снижает расход гипса, улучшаются физико-механические характеристики и расширяется область применения. Оптимальный подбор составов даёт возможность получить зологипсовые изделия марок 35, 50, 75 (по прочности на сжатие).

Для улучшения физико-механических характеристик изделий на гипсовом вяжущем, а также для сокращения расхода гипса, были разработаны составы и технология изготовления гипсолитовых блоков с введением в их состав золы-уноса Новочеркасской ГРЭС.

Характеристика исходных материалов

1. Гипсовое вяжущее вещество

Испытание гипсового вяжущего вещества проводилось по ГОСТ 23789-79.

В результате получены следующие характеристики:

Прочность при сжатии	- 100 кг/см ²
Прочность при изгибе	- 35 кг/см ²
Начало схватывания	- 2,5 мин.
Конец схватывания	- 5 мин.
Нормальная густота	- 50 %
Тонкость помола (остаток на сите № 02)	- 12,6 %

Гипс относится к быстротвердеющему вяжущему среднего помола.

2. Зола-унос Новочеркасской ГРЭС

Зола-унос, применяемая в качестве мелкого заполнителя в гипсолитовых изделиях, должна соответствовать ГОСТ 25818-91 «Зола-унос тепловых электростанций для бетона».

Химический анализ проводился по ГОСТ 10538-87: результаты приведены в табл. 1.

Удельная поверхность и тонкость помола (остаток на сите № 008) определялись по ГОСТ 310.2-76 и соответственно равны 2250-2290 см²/г и 14 %. Насыпная плотность равна 900-1000 кг/м³.

Таблица 1 - Химический состав золы-унос в % по массе

Наименование	SiO ₂	CaO	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	Mg O	SO ₃	п.п.п
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зола-унос Новочеркасской ГРЭС	47,6-52,8	3,5-3,5	4,6-5,3	19,7-22,1	13,2-14,7	2,1-2,6	0,4-0,8	1,2-1,6	6,4-0,8
Допустимое содержание по ГОСТ 25818-91	Сумма граф 2,5,6 не менее 70	Не более 3				Не более 3	Не более 5	Не более 3	Не более 15

Из результатов испытаний следует, что зола-унос Новочеркасской ГРЭС отвечает требованиям ГОСТ 25818-91.

Первоначальный эксперимент включал в себя определение влияния количества золы-унос на физико-механические характеристики зологипсолитовых изделий. Зола-унос служит заполнителем, а также благодаря шарообразной форме и гладкой поверхности её зёрен, обеспечивает пластифицирующий эффект.

За контрольный образец принимался состав из гипса и воды, применяемый в существующей технологии, для изготовления гипсолитовых блоков. Количество вводимой в состав гипсолитовой смеси золы-унос назначалось на основе подборов составов, что должно обеспечивать получение требуемых проектных характеристик (прочности, плотности, водостойкости).

Зола-унос вводилась в количестве 20, 30, 40, 50, 60 % от массы сухих компонентов. Смеси изготавливались литыми с одинаковым водогипсовым отношением.

С введением золы-унос менялось время структурообразования зологипса, что характеризуется временем начала и конца схватывания (см. табл.2.).

Таблица 2 - Зависимость времени структурообразования от количества золы-унос

№ п.п.	Сроки схватывания	Образец контрольный (без золы)	Процент золы-унос в смеси			
			20	40	50	60
1	Начало (мин)	12,5	3,5	4,5	5,0	5,5
2	Конец (мин)	5	6	7,5	8	10

Как видно из таблицы с увеличением количества золы-унос в смеси конец схватывания замедляется.

Образцы испытывались через 4 часа после изготовления в абсолютно сухом состоянии. Высушивание производилось в естественных условиях и при t=60°C. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Расход материалов и физико-механические характеристики зологипса

№ состава	Наименование материалов	Расход на 1м ³ (кг)	Плотность (кг/м ³)		R сж. (кг/см ²) после:			Водопоглощение, %	R сж. (кг/см ²) в водонасыщ. состоянии	К разм.
			Выдержка 4 час.	В сухом сост.	Выдержка 4 час.	Естеств. в. сушки	Сушки при t=60°C			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Гипс Вода	1400 700	1400	1100	36	45	48	30,4	26	0,54
2.	Гипс Зола-унос (30%) Вода	900 400 630	1500	1100	38	50	52	20,5	32	0,61

3.	Гипс	800	1600	1800	59	78	75	21,6	63	0,65
	Зола-унос (40%)	600								
	Вода	560								
4.	Гипс	750	1650	1300	52	61	62	22,4	38	0,60
	Зола-унос (50%)	750								
	Вода	525								

ПРИМЕЧАНИЕ: Коэффициент размягчения $K_{\text{разм}} = R_{\text{водонас.}}^{\text{сж}} / R_{\text{сухой}}^{\text{сж}}$

Из приведенных в табл. 3 данных следует, что с введением золы-унос плотность изделия в сухом состоянии незначительно повышается, прочность на сжатие повышается более чем в 1,5 раза.

Оптимальным состав №3 с содержанием золы-унос 40%. При дальнейшем увеличении её количества прочность на сжатие снижается.

Марке зологипса 35 соответствует состав №2 с введением 30% золы-унос, марке 50 соответствует состав №4 с содержанием золы-унос 50%, марке 75 соответствует состав №3 с содержанием золы-унос 40%. Соответственно расход гипса снижается от 30 до 50%.

Водопоглощение образцов на гипсе составило около 30%. С введением золы водопоглощение снижается примерно на 10%: коэффициент размягчения увеличивается ~ на 10%.

Анализ приведённых результатов показывает, что зола-унос участвует в структурообразовании водостойкого кристаллического сростка, что положительно сказывается на конечных результатах зологипса.

Выводы:

1. Использование золы-унос при производстве зологипсолитовых изделий снижает расход гипса от 30 до 50%.

2. Зола-унос – материал не высокой стоимости, обладающий полифункциональными свойствами, т.е. она служит заполнителем и пластификатором.

3. Зологипс обладает ценными качествами:

- сравнительно небольшая плотность;
- несгораемость;
- высокая звукоизоляционная способность;
- достаточная прочностью, что даёт возможность использование его не только в конструкциях для внутренних частей зданий, но и в изготовлении блоков для наружных несущих стен при малоэтажном строительстве.

При использовании зологипсовых изделий для возведения наружных стен, их необходимо оштукатуривать цементно-песчаным раствором с добавлением гидрофобных добавок.

4. Использование золы-унос в гипсолитовых изделия резко повышает технико-экономические показатели:

- улучшаются физико-механические свойства зологипсолитовых изделий;
- экономится до 50% гипса;
- снижается стоимость изделий;
- повышаются эксплуатационные характеристики;
- частично решается вопрос утилизации отхода производства - золы-уноса НчГРЭС.

Список литературы

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности.- Ростов-на-Дону: Феникс, 2007.
2. Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В., Шницглюз А.П., Парада С.Г. Компоненты зол и шлаков ТЭС.- М.: Энергоатомиздат, 1995.

05.23.01

П.С. Чурин, О.И. Поддаева, О.О. Егорычев

ФГБОУ ВПО «МГСУ», УНПЛ ААИСК, Москва, pashok_@inbox.ru

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАКЕТОВ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИКЕ**

В статье рассматриваются вопросы проектирования макетов уникальных зданий и аэроупругих макетов – макетов «гибких» конструкций (мосты, мачты, трубы, испарительные градирни и пр.) при физическом моделировании ветровых нагрузок в специализированных аэродинамических трубах. Уникальность методики проектирования таких макетов связана с высокой сложностью воспроизведения массово-инерционных и частотных характеристик реального объекта.

Ключевые слова: *аэродинамики зданий и сооружений, методика макетирования, уникальные здания и сооружения, аэродинамические трубы, экспериментальная аэродинамика.*

Введение

Актуальность темы связана с постоянно повышающимися требованиями нормативных документов к надежности уникальных зданий и сооружений при воздействии ветровой нагрузки. Современные нормы (пункт 6.6. СНиП 2.01.07-85* "Нагрузки и воздействия", пункт 5.1.4. МГСН 4.19-2005 и пункт 4.9 МДС 20-1.2006), предполагают физическое моделирование в специализированных архитектурно-строительных аэродинамических трубах (Рис.1).

Физический эксперимент, на стадии подготовки, предполагает проектирование и создание модели исследуемого объекта. При проведении классического аэродинамического эксперимента основным параметром моделирования является геометрическое подобие модели натурному объекту. Методика проектирования макета должна предусматривать возможность воспроизведения отдельных архитектурных элементов в масштабе, выбранном в зависимости от размеров рабочей зоны используемой аэродинамической установки, а также размещение измерительного оборудования.



Рис. 1. Экспериментальные исследования аэродинамики шпиля МИД РФ.

Методики макетирования

Рассмотрим различные варианты изготовления макета, применяемые в зависимости от моделируемой конструкции и от поставленной задачи. Основная масса макетов

изготавливается из листового материала (фанера, органическое стекло), с добавлением отдельных архитектурных элементов на 3д принтере или лазерных станках.

В качестве примера моделирования конструкций, требующего использования нестандартных методик, рассмотрим изготовление макета башенных испарительных градирен. Анализ информации в научных и литературных источниках показал, что существует несколько методик изготовления крупномасштабных макетов тонкостенных конструкций сложной формы: из листового металла путем выгибания его на специальном оборудовании, из стеклоткани, пропитанной эпоксидной смолой, ступенчатое моделирование из акрилового стекла. Ввиду необходимости размещения элементов измерительной системы (пневмотрасса) непосредственно в стенках моделируемой градирни сотрудниками МГСУ был разработан новый уникальный способ моделирования из листов пенокартона, последовательно склеенным между собой. Данный вариант представляется оптимальным, так как предполагает наименьшие финансовые и трудозатраты, и в то же время позволяет с достаточной точностью воспроизвести форму конструкции с размещением всех элементов измерительной системы. Технология макетирования по данному варианту включает разбивку формы градирни на элементарные слои-диаметры, которые, в свою очередь, разбиваются на 3-4 слоя, изготовление этих слоев из пенокартона толщиной 3 мм на катере и последовательную склейку их друг с другом. Выравнивают форму шпаклёвкой с внутренней и наружной сторон стенок макета градирни.



Рис. 2. Моделирование башенных испарительных градирен

Отдельным вопросом является проектирование и изготовление аэроупругих макетов, это, как правило, макеты «гибких» конструкций, таких как мосты, мачты, трубы, испарительные градирни. Необходимость создания аэроупругого вызвана, как правило, задачами исследования ветрового воздействия на мостовые конструкции. Моделирование мостовых конструкций и их исследование в аэродинамических трубах регламентируется действующим законодательством, а именно СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы». Основной особенностью данного вида испытаний является необходимость измерения не только распределения давления и аэродинамических усилий, но также и деформаций возникающих в конструкции.

Классический экспериментальный метод опирается на модель сечения, которая представляет собой часть пролетного строения моста, подвешенную на пружинном устройстве с целью смоделировать изгибные и крутильные колебания с наложением обоих форм колебаний, которая подвергается ветровому воздействию в аэродинамической трубе (Рис. 3). Если модель сечения имеет требуемые характеристики по массе и инерции, которые определяются по законам подобия, то фактическая работа пролетного строения будет сходна и может быть прямо выведена из поведения модели пролетного сечения в аэродинамической трубе.



Рис. 3. Модель пролетного сечения подвешенная на пружинном устройстве

Расчет массы, момента инерции и размеров модели пролетного сечения проводится до изготовления модели и основывается на исходных данных, которые включают конструктивные и архитектурные чертежи, а также массово-инерционные и частотные характеристики реально существующего или проектируемого объекта.

Как правило, аэроупругая модель состоит из одного или нескольких основных элементов, моделирующих массово инерционные характеристики конструкции, а также из дополнительных элементов, которые служат для воспроизведения формы исследуемого объекта (Рис.4).

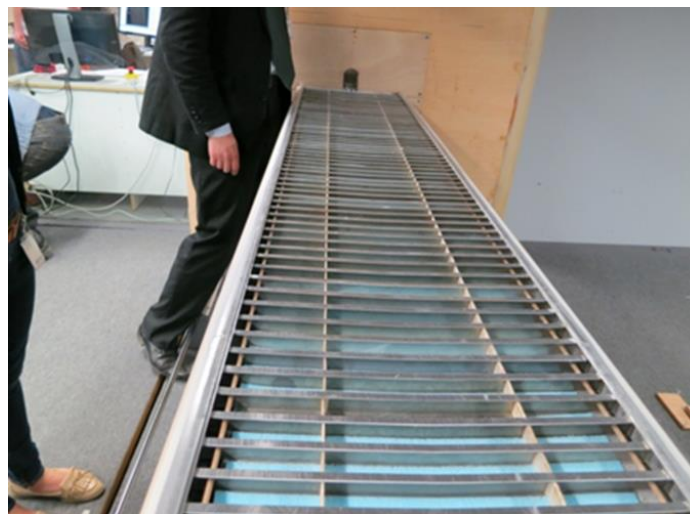


Рис. 4. Моделирование ограждающих конструкций и поперечных балок пролетного строения.

Частотные характеристики моделируются путем подбора пружин различной жесткости, к которым крепится модель, и использованием различных дополнительных амортизаторов, и контролируются в ходе проведения эксперимента (Рис. 5). Следует учитывать, что в соответствии с пропорцией, в которой соотношены размеры модели и моста, необходимо определять масштаб скорости ветра.



Рис. 5. Система подвеса, включающая в себя опорный рычаг и пружины

Выводы

Выбор методики проектирования макетов уникальных зданий и сооружений для исследования аэродинамических воздействий в первую очередь зависит от задачи, поставленной перед экспериментатором, а также от формы исследуемого объекта, особенностей применяемых измерительных систем и возможностей имеющегося для изготовления макета оборудования. Модель, изготовленная с учетом всех вышеперечисленных факторов, позволяет провести эксперимент на современном уровне и получить достоверные результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения государственного задания ФГБОУ ВПО «МГСУ» №2014/107, проект «Фундаментальные исследования ветровых воздействий (в том числе экстремальных) на уникальные здания и сооружения, а также мостовые конструкции».

Список литературы

1. Churin P., Poddaeva O. Aerodynamic Testing of Bridge Structures // Applied Mechanics and Materials. 2014, V. 467, pp.404-409.
2. Егорычев О.О., Гувернюк С.В., Исаев С.А., Поддаева О.И., Корнев Н.В., Усачов А.Е. Численное и физическое моделирование ветрового воздействия на группу высотных зданий // Вестник МГСУ, № 3, т.1, 2011 г., с.185-191.
3. Поддаева О.И. ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНОСТРОИТЕЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИКИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 9. С. 35-38.
4. Egorychev O.O., Orekhov G.V., Kovalchuk O.A., Doroshenko S.A. STUDYING THE DESIGN OF WIND TUNNEL FOR AERODYNAMIC AND AEROACOUSTIC TESTS OF BUILDING STRUCTURES // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2012. № 4. С. 7-12.
5. Егорычев О.О., Дуничкин И.В. ВОПРОСЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗАСТРОЙКИ // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 123-131.

05.13.18

Ю.А. Чурсин, С.С. Михалевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
физико-технический институт, кафедра ЭАФУ, Томск, _Ju_@mail.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСЧЕТ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ КОНТУРОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В статье представлен алгоритм решения алгебраических контуров в системах автоматического управления. Детально описаны все функции, используемые в алгоритме. Предлагаемый подход к решению алгебраических контуров реализован в специализированном программном средстве. Приведен пример решения алгебраического контура.

Ключевые слова: система автоматизированного регулирования, алгебраический контур, математическое моделирование, алгоритм, программное средство.

Введение

Зачастую при моделировании физических процессов возникают проблемы решения алгебраических контуров. Особенно ярко данная задача проявляется при моделировании современных адаптивных системах [1].

Работы по исследованию и решению систем, содержащих алгебраические петли, ведутся с 70-х годов прошлого века [2]. Большая часть существующих работ посвящена решению алгебраических контуров на основе графо-аналитического подхода [3–5]. С его помощью возможна идентификация алгебраической петли [4], преобразование в переходную структуру в R-поле (R-field) [5] не содержащей алгебраический контур, тем самым позволяя применять известные методы расчета систем.

Существуют также работы посвященные решению алгебраических контуров на основе нейро-нечетких алгоритмов [1].

Ни один из представленных подходов не позволяет автоматически анализировать создаваемую пользователем (on-line) систему управления: идентифицировать алгебраические петли и решать их. В настоящей работе представлен алгоритм автоматического нахождения алгебраических контуров (в т.ч. вложенных друг в друга), позволяющий производить их решение на основе итерационного метода. Данный алгоритм может быть применен как для непрерывных, так и для дискретных систем.

Постановка задачи

Рассматриваемая авторами система состоит из динамических звеньев (блоков), связанных между собой (см. рисунок 2).

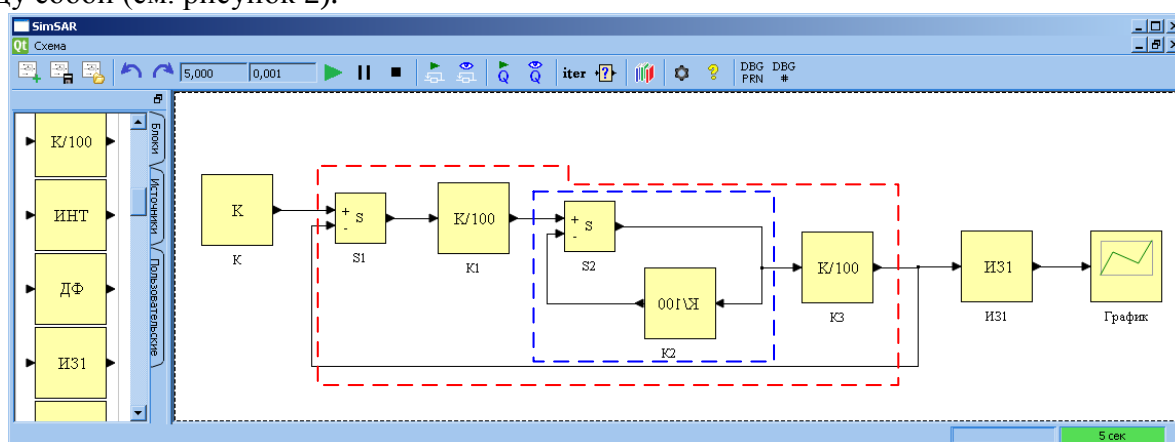


Рис. 2– Внешний вид системы в авторской среде моделирования

В общем случае, каждое звено системы можно разделить на два вида: звенья, расчет которых осуществляется с задержкой на один цикл расчета и звенья «с прямым выходом». Выходное значение последних напрямую зависит от текущего входного значения.

Примером блока с прямым выходом является сумматор, примером блока без прямого выхода – апериодическое звено. Совокупность таких звеньев, объединенная в замкнутую систему, называется алгебраическим контуром (см. рисунок 2), для расчета которого следует решить алгебраическое уравнение или систему алгебраических уравнений, если контуров более одного.

Для разрешения алгебраических контуров в системе необходимо решить следующие задачи: выявить алгебраические контуры, определить порядок их расчета, решить получающие алгебраические уравнения одним из известных способов.

Алгоритм определения алгебраических контуров

Рассмотрим пример разрешения контуров на примере. Предположим, имеется система, представленная на рисунке 2. Сначала находим первый контур (красная линия), затем второй (синяя линия). Как видно первый контур содержит второй внутри себя, поэтому порядок расчета должен быть следующим. Разрываем первый внешний контур (рисунок 3а) и решаем уравнение типа $x = F(x)$, где x это значение на входе первого блока контура, а $F(x)$ – выходное значение последнего блока. При этом на «свободные» входы элементов подаются текущие выходные значения соединенных с ними элементов. Далее разрывается второй контур (рисунок 3б), и для него решается аналогичное уравнение. Для решения уравнений авторами использовался метод секущих, как наиболее простой в реализации. Последовательное уравнивание контуров в зависимости от шага моделирования приводит к выходу системы на стационарное состояние. При достижении данного состояния расчет шага считается завершенным, и полученные значения выходов элементов фиксируются в системе.

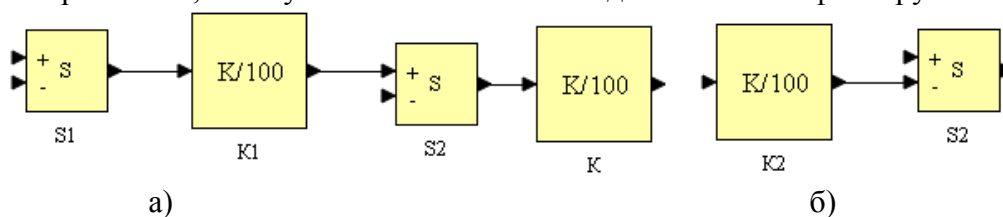


Рис. 3– Первый а) и второй б) алгебраический контур

Реализация алгоритма определения алгебраических контуров

Рассмотрим алгоритм нахождения алгебраических контуров в системе и составления вектора расчета элементов.

Алгоритм основного цикла приведен на рисунке 4. Основной цикл повторяется каждый раз, пока находятся новые алгебраические контуры. Признаком нахождения нового контура является возврат функцией AddToList значения 1.

Функция AddToList – рекурсивная функция для добавления элементов в вектор расчета. Вначале проверяется, имеет ли рассматриваемый элемент прямой выход. В случае, если он его не имеет, проверяется не был ли данный элемент уже проверен. Если элемент не проверен и при этом во время выполнения функции не был обнаружен новый алгебраический контур, то он добавляется в вектор расчета. При наличии прямого выхода проверяется не находится ли элемент уже в алгебраическом контуре. Если элемент уже там находится, то вызывается функция проверки всего алгебраического контура CheckLoop, к которому принадлежит данный элемент. Если функция CheckLoop возвращает 1 (найден еще 1 алгебраический контур), выполнение функции AddToList также прерывается с возвращением значения 1.

В случае, если элемент не находится в алгебраическом контуре выполняется последовательная проверка всех элементов на его входах. Если элемент на входе уже проверен, то он пропускается. В случае, если элемент не проверен, проверяется просмотрен ли уже до этого. В случае, если элемент не был до этого просмотрен, устанавливается флаг, что он просмотрен. Затем следует проверка данного элемента на нахождение в алгебраическом контуре. Если он там находится, то вызывается функция CheckLoop и выполняются действия аналогичные описанным выше. В случае, если проверяемый элемент не находится в алгебраическом контуре, то для него вызывается функция AddToList.



Рис. 4– Схема алгоритма основного тела программы

Если проверяемый элемент уже был когда-то просмотрен (выставлен соответствующий флаг), значит мы нашли алгебраический контур и надо обработать данную ситуацию. В этом случае выставляется флаг наличия новых алгебраических контуров в системе, счетчик алгебраических контуров увеличивается, уже просмотренный элемент помечается как конец алгебраического контура, а элемент со входом которого он связан, как начало алгебраического контура. Данный элемент добавляется в вектор элементов алгебраического контура. Цикл перебора входов элемента прерывается, функция возвращает 0.

Таким образом, мы рекурсивно вызываем функции `AddToList` и `CheckLoop`, чтобы двигаясь обратно направлению связей элементов с прямым выходом обнаружить либо «источник» (элемент без прямого выхода), либо алгебраический контур.

Результаты работы алгоритма

Результаты моделирования для рассматриваемой системы приведены на рисунке 5. Коэффициенты масштабирования $K_1=K_2=K_3=1$. Константа $K=1$. Передаточная функция инерционного звена $ИЗ1 = 1/(s+1)$.

Составим уравнения для алгебраических контуров.

$$\begin{cases} S1 = (K - S2) \cdot K3 \\ S2 = S1 \cdot K1 - S2 \cdot K2 \end{cases} \quad (3)$$

где $S1$ – выход первого сумматора, $S2$ – второго.

Решая данную систему, получаем $S1 = 0,6(6)$, $S2 = 0,3(3)$. Выход системы в конце моделирования равен $0,3(3)$.

Результаты моделирования с использованием предлагаемого алгоритма полностью совпадают с «ручными» расчетами, что позволяет говорить о его работоспособности.

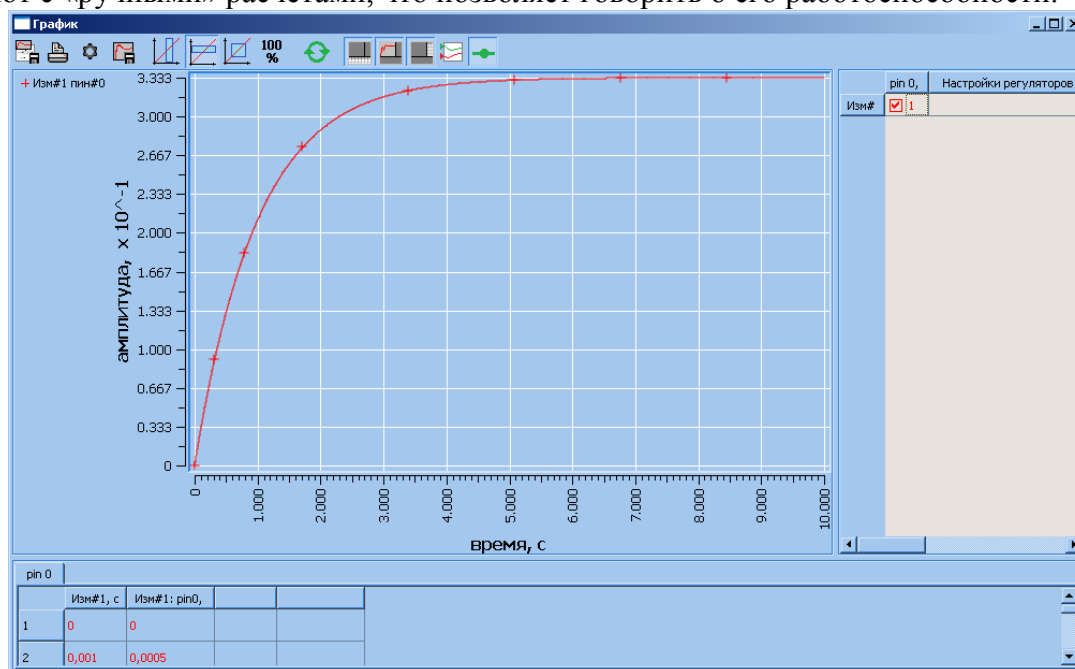


Рис. 5– Результаты расчета системы

Заключение

Предлагаемый алгоритм показал свою работоспособность и может быть внедрен в различные пакеты расчета динамических систем.

В перспективе планируется реализовать совместное решение системы алгебраических уравнений, получаемых при расчете нескольких алгебраических контуров, а также доработать алгоритм обработки случаев замкнутости элемента на самого себя.

Список литературы

1. Marcelo Malini Lamago "Adaptive Structures with Algebraic Loops." IEEE Trans Neural Networks, vol.12, No.1, 2001, 33-42.
2. Gear, C. W. Simultaneous numerical solutions of differential/algebraic equations. IEEE Trans. CircuitTheory, 1971, CT-18(1), 89–95.
3. P. Graf "Dynamic Augmentation of Dissipative Algebraic Loops", M.S. Thesis, Dept. of Mechanical Engineering, Michigan State University, 1981.
4. R.C. Rosenberg, A.N. Andry "A graph theoretic method for identifying implicit two-time-scale problems", Decision and Control including the Symposium on Adaptive Processes, 1981 20th IEEE Conference, vol. 20, 1981, 215-216.
5. G Gonzalez, R Galindo "Removing the algebraic loops of a bond graph model", Journal of Systems and Control Engineering, vol. 222, 2008, 543-556.

05.17.07

А.Д. Чучалина, А.С. Ширкунов к.т.н., В.Г. Рябов д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
химико-технологический факультет, Пермь, annixtt@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ТЯЖЁЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ

Приведены результаты исследований по поиску альтернативных видов связующих для производства гранулированных активных углей. Выявлено, что использование в качестве связующих тяжёлых нефтяных остатков в чистом виде не позволяет достичь необходимого уровня коксующести одновременно с достаточно низкой вязкостью, что негативно скажется на качестве получаемых активных углей. В то же время при компаундировании маловязких продуктов с компонентами, имеющими высокую коксующесть, возможно получение связующего, характеристики которого находятся на оптимальном уровне.

Ключевые слова: *гранулированный активный уголь, связующее, гранулирование, коксующесть, динамическая вязкость, битум, асфальт, каменноугольная смола.*

Гранулированные активные угли являются широко распространенными сорбентами, применяемыми в производстве в системах очистки вентиляционных газов, воды и прочих жидкостей, а так же в средствах индивидуальной защиты органов дыхания [1, 2, 3]. В производстве активных гранулированных углей используют связующее, которое в процессе смешения с угольным порошком образует угольно-смоляную композицию (УСК). Далее прессованием и продавливанием через отверстия фильер из неё получают гранулы. Гранулы подвергают термообработке: сушке, карбонизации и активации. В процессе карбонизации происходит частичный пиролиз УСК: связующее образует углеродные мостики между частицами угля, в результате чего гранула приобретает прочность и твердость. Удаление летучих компонентов обеспечивает первоначальную пористость гранул.

Обязательными требованиями, предъявляемыми к указанному связующему, являются, в первую очередь, его коксующесть и вязкость. Так, недостаточная коксующесть приводит к тому, что количество образованных углеродных мостиков не достаточно для получения прочных гранул, чрезмерная же ее величина может привести к закоксовыванию пор сорбента, и как следствие, к снижению его активности. Типичные значения коксующести находятся в интервале от 8 до 12%.

Нормируемые значения вязкости обеспечивают требуемую пластичность пасты, в отсутствии которой возможно неравномерное распределение угольного порошка в объеме связующего и сложности в процессе гранулирования угольно-смоляной композиции через отверстия фильер [4].

На протяжении десятилетий в производстве ГАУ в качестве связующих использовались лесохимические (ЛХС) и каменноугольные смолы (КУС). Однако в последние годы нестабильность их состава, нерегулярность поставок и возрастающий дефицит зачастую приводят к нарушениям технологического режима как при подготовке угольно-смоляных композиций для гранулирования, так и на последующих стадиях производственного процесса, что выражается в ухудшении качества получаемых сорбентов и снижении экономических показателей их производства.

В связи с этим становятся актуальными исследования, направленные на поиск альтернативных видов связующих, пригодных для получения высококачественных сорбционных материалов [5].

Целью настоящих исследований является оценка применимости тяжёлых продуктов переработки нефти в качестве связующих при производстве гранулированных активных углей. Так как коксующесть и вязкость являются основными характеристиками,

определяющими пригодность вещества в качестве связующего для получения ГАУ, проведенные исследования были направлены на исследование этих характеристик для различных высококипящих нефтепродуктов.

Исследования проводились в рамках работ по постановлению правительства России № 218 от 09.04.2010 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских ВУЗов и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичных производств» по теме: «Создание высокотехнологичного адаптивного производства углеродных сорбентов и фильтрующих материалов как основы отечественной сорбционной, экологической и противогазовой техники нового поколения».

В ходе исследований были проанализированы величины вязкости и коксуемости целого ряда высококипящих нефтепродуктов. Вязкость определяли с помощью модульного компактного реометра MCR 102 (производство Anton Paar) с использованием измерительной геометрии плита-плита с диаметром 25 мм при напряжении сдвига 5 Па. Содержание кокса измеряли с помощью микроанализатора коксового остатка NMC440 в соответствии с ASTM D 4530-03 (по результатам аналогичен ГОСТ 8852).

В качестве объектов исследования были выбраны продукты, применяемые в качестве связующих в настоящее время, а именно:

- каменноугольная смола (КУС) Кемеровского коксохимического завода;
- лесохимическая смола производства ОАО «Амзинский лесокombинат» (ЛХС-А);
- смола Верхнесинячихинского лесохимического завода (ЛХС-ВС);

а также высококипящие нефтепродукты с технологических установок ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез»:

- мазут – остаток атмосферной перегонки нефти;
- гудрон – остаток вакуумной перегонки мазута;
- затемнённый вакуумный погон (Слоп);
- тяжёлый газойль коксования (ТГК);
- нефтяной дорожный битум марки БНД 60/90 (БНД);
- прямогонное дизельное топливо (ДТ);
- асфальт деасфальтизации гудрона пропаном;
- экстракт селективной очистки остаточных масел (ЭСО).

Характеристики исследованных связующих приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты определения характеристик тяжёлых продуктов переработки нефти и связующих, используемых в настоящее время

Исследуемый нефтепродукт	Динамическая вязкость, Па·с				Коксуемость, %
	при 20°C	при 40°C	при 60°C	при 100°C	
ЛХС-А	39,3	2,2	0,35	0,04	13,6
ЛХС-ВС	164,0	10,8	1,14	0,13	19,7
КУС	61,89	3,98	0,56	0,05	26,2
Мазут	7,04	0,62	0,14	0,03	7,3
Асфальт	86472	1561,2	89,7	2,04	18,5
ТГК	0,048	0,014	0,008	0,004	0,2
БНД	–	–	1027,2	13,2	18,5
Гудрон	848,28	47,91	4,76	0,36	13,5
ЭСО	56,25	1,56	0,26	0,04	2,2
Слоп	15,80	–	0,15	–	2,1

Анализ полученных результатов показывает, что вязкость связующих, используемых в настоящее время – каменноугольных и лесохимических смол – существенно возрастает при длительном выдерживании при постоянной температуре, что говорит о нестабильности их свойств (величина возрастает в 2-3 раза, рис. 1). С другой стороны, для нефтепродуктов изменение вязкости при длительном выдерживании существенно ниже (не превышает 15 % от исходной величины).

В ходе исследований было выявлено, что значения характеристик проанализированных продуктов значительно отличаются от оптимальных. В частности, такие продукты как мазут, ЭСО, слоп, ТГК, имеют вязкость оптимальную для приготовления угольно-смоляной композиции и её гранулирования, но при этом их коксуемость недостаточна. В случае других испытанных нефтепродуктов (гудрон, асфальт деасфальтизации, битум), содержание коксового остатка находится в допустимых пределах (порядка 8-12 %), но вязкость слишком высока [6].

Исходя из полученных данных, было решено испытать в качестве связующих смеси маловязких (мазут, ЭСО, слоп, ТГК, ДТ) и высоковязких нефтепродуктов (гудрон, асфальт, битум). Состав проанализированных смесей и их характеристики представлены в табл. 2 и на рис. 2.

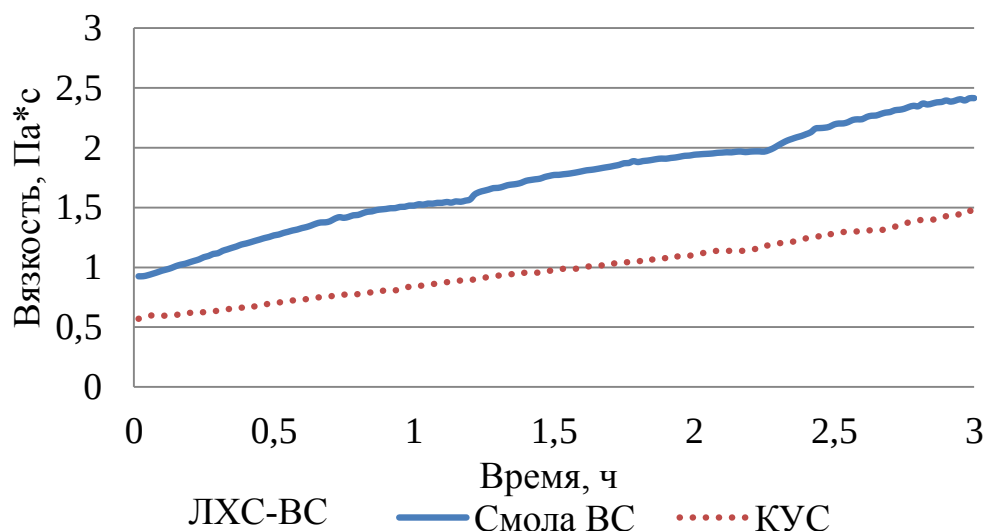


Рис. 1 – Зависимость динамической вязкости смол от времени выдерживания при температуре 60°C

Таблица 2 – Результаты определения характеристик смесей маловязких и высоковязких нефтепродуктов

Исследуемый нефтепродукт	Динамическая вязкость, Па·с				Коксуемость, %
	при 20°C	при 40°C	при 60°C	при 100°C	
Асфальт 50% + ТГК 50%	1,5	0,4	0,1	0,01	9,2
Асфальт 60% + ТГК 40%	45,56	2,64	0,56	0,09	11,3
БНД 40% + ТГК 60%	4,12	0,6	0,17	0,04	8,1
БНД 40% + мазут 60%	224,43	8,62	1,32	0,17	11,3
БНД 60% + ДТ 40%	3,46	0,75	0,15	0,03	11,2

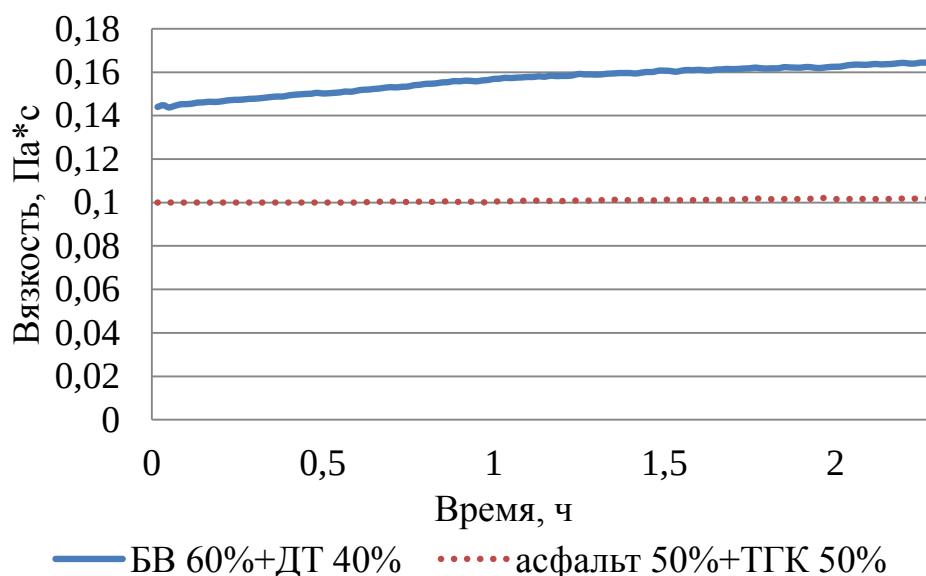


Рис. 2 – Зависимость динамической вязкости смесей нефтепродуктов от времени выдерживания при температуре 60°C

Результаты анализов свидетельствуют о том, что коксуемость предложенных смесей находится в оптимальных пределах, при этом значения вязкости существенно ниже, чем для каменноугольных и лесохимических смол, что позволит проводить гранулирование при сниженной температуре. Стабильность вязкости также весьма высока (повышение вязкости в ходе выдерживания при постоянной температуре составляет 5-15% от исходной величины).

На основании полученных данных могут быть сделаны следующие выводы:

1. Повышение вязкости связующего в ходе термостатирования и смешения с размолотым углём может привести к чрезмерному загустеванию угольно-смоляной композиции и невозможности его прессования через отверстия фильер. Тогда как используемые в настоящее время каменноугольная смола Кемеровского коксохимического завода, лесохимическая смола производства ОАО «Амзинский лесокombинат», смола Верхнесинячихинского лесохимического завода имеют нестабильную вязкость и завышенное содержание кокса, поэтому дальнейшее его применение не желательно.

2. Нефтепродукты в качестве связующих в чистом виде применять нежелательно, поскольку в этом случае либо вязкостные свойства, либо их коксуемость имеют неудовлетворительные значения.

3. Показана возможность приготовления смесей высококипящих нефтепродуктов, вязкостные свойства и содержание коксового остатка которых полностью соответствуют рекомендуемым значениям этих показателей. В частности, один компонент обеспечивает достаточную коксуемость, а второй снижает вязкость до оптимального уровня.

4. У традиционных связующих оптимальное значение вязкости для получения угольно-смоляной композиции достигается при 60-80°C, тогда как у предложенных смесей аналогичный уровень вязкости – при температуре 40-60°C. Соответственно, применение данных смесей в качестве связующих позволит вести гранулирование при более низких температурах.

Список литературы

1. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России. Под общей редакцией проф. д-ра техн. наук А.В. Тарасова. – М: Металлургия, 2000.-352с.-64ил.-191табл. Сп. лит-ры: 427 назв.
2. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. – Л.: Химия, 1984.-216с.
3. Великий Е.М., Лимонов Н.В., Зорина Е.И., Фарберова Е.А. Влияние сырьевой базы на качество получаемых гранулированных активных углей на каменноугольной основе // Актуальные проблемы синтеза нанопористых материалов, химии поверхности и адсорбции: Материалы всероссийской конференции с международным участием. – СПб., 16-20 июня 2014. С. 64.
4. Рогачёв М.К., Кондрашёва Н.К. Реология нефти и нефтепродуктов. Уфа: УГНТУ – 2000г. – 89с.
5. Лимонов Н.В., Зорина Е.И., Великий Е.М., Фарберова Е.А. Новые типы связующих для получения гранулированных активных углей с улучшенными характеристиками // Актуальные проблемы синтеза нанопористых материалов, химии поверхности и адсорбции: Материалы всероссийской конференции с международным участием. – СПб., 16-20 июня 2014. С. 64.
6. Тетельмин В.В., Язев В.А. Реология нефти. – М.: изд-во Граница. Серия: нефтегазовая инженерия – 2009г. – 256с.

05.13.06

И.А. Шиколенко, Ю.Л. Беккер к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», институт инженерно-экологического строительства и механизации, кафедра электротехники и электропривода, zugrik@mail.ru, 1774@17-71.com

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

В статье рассмотрена концепция автоматизации инженерных систем здания и коммерческого устройства энергоресурсов представлена схема организации предполагаемой системы, рассмотрены аспекты безопасности физической и информационной безопасности.

Ключевые слова: *система автоматического управления, инженерные системы, освещение, учет энергоресурсов, системы безопасности, диспетчеризация.*

В настоящее время широкую популярность приобретают системы домашней автоматизации под условным наименованием «Умный дом» [1]. Ввиду повышения доступности микропроцессорных устройств управления и элементной базы, данные системы представлены в широком диапазоне цены и качества от уровня DIY (сделай это сам), до профессиональных систем автоматизации, устанавливаемых в жилых помещениях класса «люкс». Одной из возможных тенденций развития систем домашней автоматизации может стать их объединение и интеграция на уровне многоквартирного дома. Данное решение особенно актуально для вновь возводимых зданий или целых микрорайонов возводимых единым застройщиком. Автором статьи предлагается концепция применения автоматизации инженерных систем и учета энергоресурсов многоквартирного дома, которая является одним из возможных вариантов реализации указанной выше системы. Согласно концепции автоматизация инженерных систем здания должна иметь иерархическую структуру элементы которой имеют возможность ограниченного взаимовоздействия, поименованные автоматизации инженерных систем (ИС), систем безопасности и связи, в предполагаемой концепции предусмотрена и функция автоматизации процесса коммерческого учета (КУ) энергоресурсов. Графическое представление концепции автоматизации ИС и КУ многоквартирного дома представлено на схеме и плане организационной структуры системы (рисунок 1). На представленном ниже рисунке приведен пример реализации системы для одного этажа одного подъезда условного многоквартирного жилого дома.

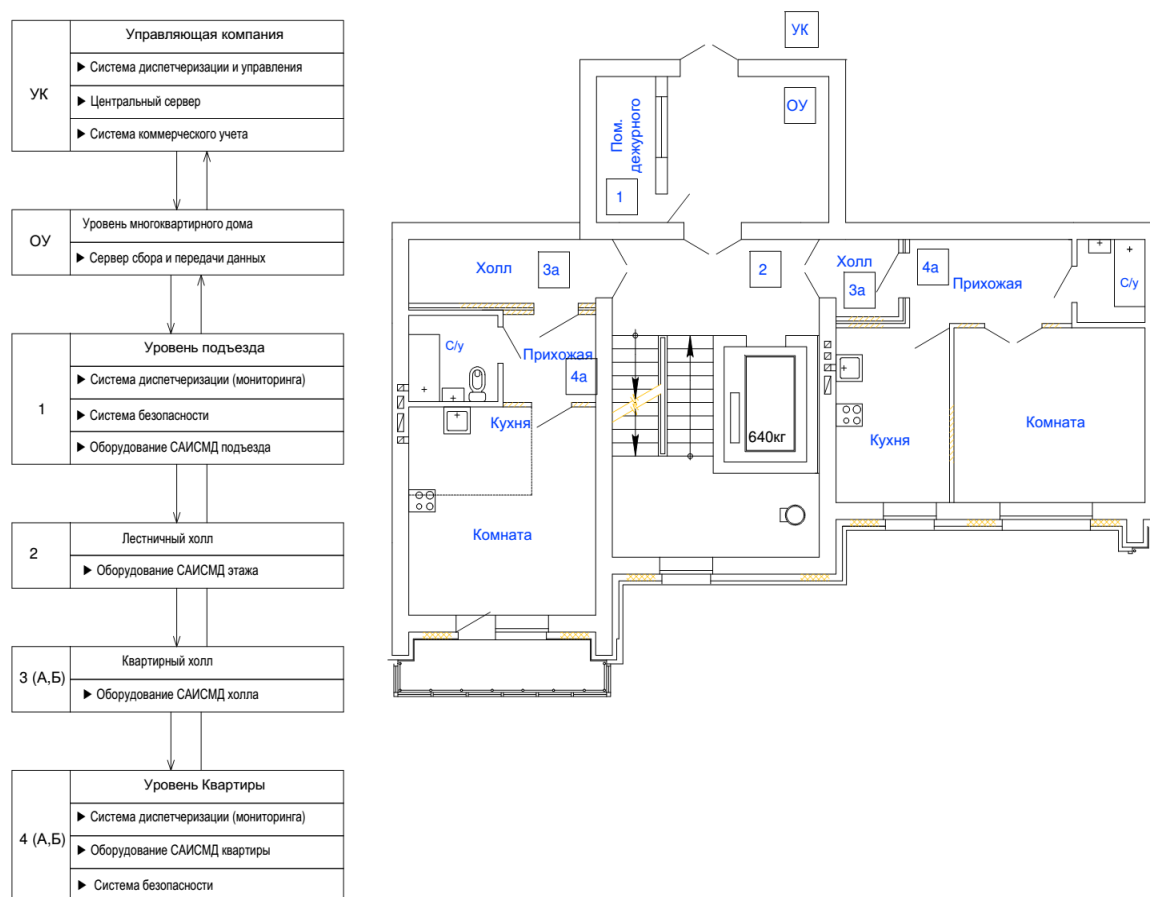


Рис. 1 — Схема и план организационной структуры системы автоматизации инженерных систем и коммерческого учета энергоресурсов многоквартирного жилого дома.

Рассмотрим более подробно структуру системы.

Уровень управляющей компании – На данном уровне предполагается контроль и управление всеми элементами входящими в систему. Одним из важных элементов данного уровня является система диспетчеризации и управления. У оператора доступа для данного уровня должен быть максимально возможный список прав доступа к управлению элементами системы. Например: Управление наружным и внутренним освещением относящемся к общей территории многоквартирного дома, мониторинг общедомой системы безопасности, контроль и управление лифтом и т.д. Следующим обязательным элементом данного уровня является центральный сервер, включающий в себя необходимое вычислительное и программно-аппаратные комплексы необходимые для функционирования системы в целом, в том числе серверы SCADA и сервер автоматизированной информационной системы коммерческого учета энергоресурсов (АИСКУЭ). С помощью АИСКУЭ реализуется контроль за состоянием и показанием общедомовыми и квартирными счетчиками энергоресурсов. Производится анализ энергоэффективности здания, а также производится автоматизация финансовых аспектов.

Уровень многоквартирного дома – на данном уровне производится сбор и первичная обработка информации от уровней расположенных ниже по иерархии, а также последующая передача обработанных данных на верхний уровень системы.

Уровень подъезда – оборудование данного уровня предполагается размещать в помещении дежурного персонала (консьержа). Данный уровень предполагает наделение оперативного персонала (консьержа) функциями мониторинга и ограниченного управления инженерными системами подъезда, а также мониторинга за критически важными показателями систем автоматизации и безопасности уровней системы находящихся в частной собственности владельцев жилых помещений. Помимо системы диспетчеризации элементом данного уровня является система безопасности подъезда (системы охранно-пожарной сигнализации, видеонаблюдения, контроля доступа, пожаротушения). Также в

данную систему входит технологическое оборудование системы автоматизации инженерных систем многоквартирного дома (САИСМД).

Уровень лифтового холла – на данном уровне располагаются различные подсистемы САИСМД, например система автоматического управления параметрами лифта, которая для обеспечения более высоких параметров эффективности работы оборудования может реализована с помощью ПИД закона регулирования [2]. Также оборудованием САИСМД производится передача данных как на более высокие, так и более низкие уровни системы.

Уровень квартирного холла – На данном уровне расположены унифицирующее оборудование САИСМД, которое с одной стороны позволяет обеспечить, сбор данных и управление системами подчиняющимися верхнему уровню иерархии. А с другой стороны обеспечивает унификацию сигналов от оборудования установленного в частном домовладении.

Уровень квартиры – На данном уровне реализуется классическая концепция «Умный дом», системы мониторинга и управления. Безопасности, и автоматизации выбираются по желанию собственника домовладения, с условием обеспечения их последующей интеграции в более высокий уровень системы.

Ввиду высокой трудоемкости создания и обслуживания САИСМД, при её разработки где это возможно необходимо руководствоваться принципами создания самонастраивающихся систем автоматического управления или где это возможно упрощения выбора закона регулирования за счет внедрения соответствующих алгоритмов [3]

Отдельно стоит отметить, что для всех уровней системы актуален вопрос защиты системы «умный дом» от несанкционированного воздействия извне [4], а также повышение безопасности систем управления оборудованием за счет устранения ошибок автоматического регулирования [5].

Конечной целью разработки САИСМД является повышение безопасности, энергоэффективности, а также повышение качества жизни людей, за счет внедрения систем параметрами микроклимата [6] и освещения, что может положительно сказаться на протекании различных биологических процессов в организме человека [7]

Список литературы

1. Ву Т. З. Анализ систем автоматизированного управления умным домом / Т. З. Ву // Молодой ученый. — 2011. — №4. Т.1. — С. 28-31.
2. Завьялов В.А. Релейно-пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор для управления приводом лифтов / Завьялов В.А., Величкин В.А. //механизация строительства. — 2012. — №. 12. — С. 5-7.
3. Завьялов В. А. Определение параметров МП регулятора по параметрам передаточной функции объекта управления / Завьялов В.А., Величкин В.А. // Механизация строительства. — 2011 — № 8 — С. 22-23.
4. Ву Т. З. Методы автоматического управления умным домом / Т. З. Ву, А. В. Кизим // Молодой ученый. — 2011. — №5. Т.1. — С. 39-42.
5. Завьялов В. А. Компенсация ошибок настройки регулятора при изменении свойств объекта управления / Завьялов В.А., Морозова Н.Ю. // Механизация строительства. — 2008. — №. 3 — С. 19-20
6. Тихонов А. Ф. Системы автоматического регулирования параметров отопления и кондиционирования / Тихонов А. Ф., Захаров Я. В., Побат С. В. //Механизация строительства. — 2009. — №. 9 — С. 22–24.
7. Ульянов Р.С. Концепция автоматически управляемой системы освещения на базе светодиодов, для создания условий искусственного освещения идентичного естественному / Ульянов Р.С., Шиколенко И.А., Прокопьев С.В., Завьялов В.А. // Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сборник трудов семнадцатой международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (23—25 апреля 2014 г., Москва) / М-во образования и науки Росс. Федерации, Московский гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2014. — С. 1161 – 1165.

05.13.18

А.Г. Щербинин д.т.н., Д.А. Шишкин, А.С. Мансуров

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
 Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
 Пермь, ktei@pstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛУПРОВОДАЩИХ ЭКРАНОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ СИЛОВОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КАБЕЛЯ

Построена математическая модель электромагнитных процессов силового кабеля, методом конечных элементов решена задача электрического поля кабеля. Получена картина электрического поля кабеля в случае целостности его конструкции. Рассмотрено влияние на распределение электрического поля кабеля отсутствие полупроводящих слоев по жиле и изоляции.

Ключевые слова: *математическая модель, электрическое поле, силовой кабель, дефекты.*

Бесперебойное электроснабжение объектов различного назначения невозможно без обеспечения надежности и долговечности кабельных линий. Эти параметры в значительной степени зависят от соблюдения технологического режима изготовления кабелей, правильности их прокладки, а также эксплуатации. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) (рис.1) в полной мере отвечают вышеперечисленным требованиям. Данная работа посвящена математическому моделированию и исследованию электрического поля СПЭ кабеля на напряжение 110/64 кВ.

На рисунке 1 представлена конструкция рассматриваемого кабеля.

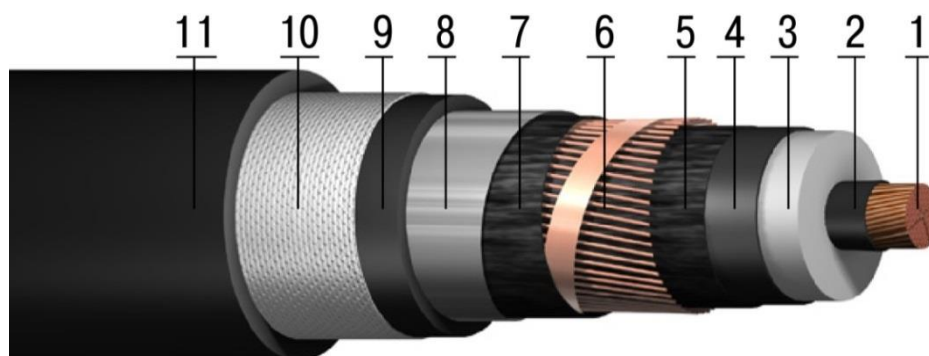


Рис. 1. Конструкция кабеля марки АПвВнг2г с изоляцией СПЭ.

1 – алюминиевая токопроводящая жила; 2 – экструдированный электропроводящий экран по жиле; 3 – изоляция из сшитого полиэтилена; 4 – экструдированный электропроводящий экран по изоляции; 5 – электропроводящая водоблокирующая лента; 6 – экран из медных проволок, повитых медной лентой; 7 – разделительный слой водоблокирующей ленты; 8 – алюмополимерная лента; 9 – внутренняя оболочка из поливинилхлоридного пластиката; 10 – стеклолента; 11 – оболочка из поливинилхлоридного пластиката

Пренебрегая изменением электрического поля вдоль кабеля, дифференциальное уравнение для электрического потенциала при переменном токе в декартовой системе координат примет вид [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left((\varepsilon - ig / \omega) \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left((\varepsilon - ig / \omega) \frac{\partial U}{\partial y} \right) = 0, \quad (1)$$

где U – комплексная амплитуда скалярного электрического потенциала; ε – диэлектрическая проницаемость среды; ω – циклическая частота; g – проводимость среды.

Диэлектрическая проницаемость и проводимость материалов не зависят от напряженности электрического поля и не изменяются в пределах каждого конструктивного элемента кабеля.

На поверхности токопроводящей жилы задается фазное напряжение 64 кВ. Потенциал равный нулю задается на медном экране и на бесконечном удалении от кабеля. На границах раздела сред задается равенство электрических потенциалов с одной и другой сторон от границы.

Диаметр алюминиевой токопроводящей жилы составляет 33,4 мм, что соответствует сечению 800 мм², проволоочный экран состоит из 38 проволок диаметром 2 мм сечением 120 мм². Толщина полупроводящего слоя по жиле составляет 1,6 мм, толщина изоляции – 14,5 мм, толщина полупроводящего слоя по изоляции равняется 1,3 мм. В таблице приведены электрические свойства материалов конструкции исследуемого кабеля [2].

Таблица – Электрические свойства используемых в кабеле материалов

Элемент конструкции	Проводимость, См/м	Диэлектрическая проницаемость
Алюминиевая жила	$38 \cdot 10^6$	–
Внутренний полупроводящий экран	0,1	100
СПЭ изоляция	0	2,25
Полупроводящий экран поверх изоляции	0,6	100
Полупроводящий экран водоблокирующее волокно	0,02	100
Медный экран	$58 \cdot 10^6$	-
ПВХ - пластикат	0	3,5
Воздух	0	1,0006

Уравнение (1) решается методом конечных элементов [1]. Фрагмент сетки конечных элементов модели представлен на рисунке 2. Количество элементов сетки составляет 59176.

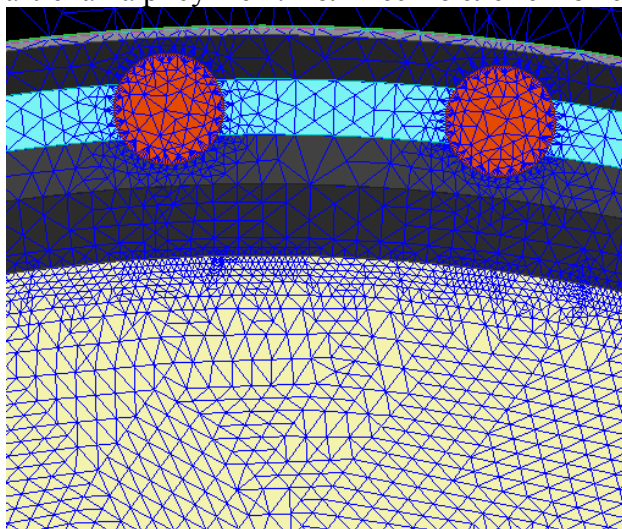


Рис. 2. Фрагмент сетки конечных элементов модели

На рис. 3 приведено распределение электрического поля в поперечном сечении для заданной конструкции кабеля (рис. 1). Максимальное значение напряженности электрического поля 6,1 кВ/мм наблюдается вблизи полупроводящего экрана по жиле (рис. 3, рис. 4,1). При увеличении радиуса напряженность плавно снижается до величины 4,3 кВ/мм у полупроводящего слоя по экрану.

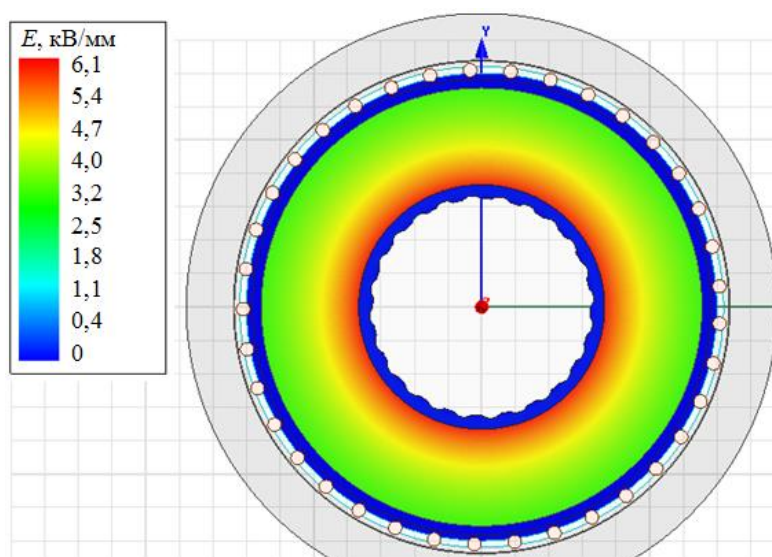


Рис. 3 Электрическое поле кабеля

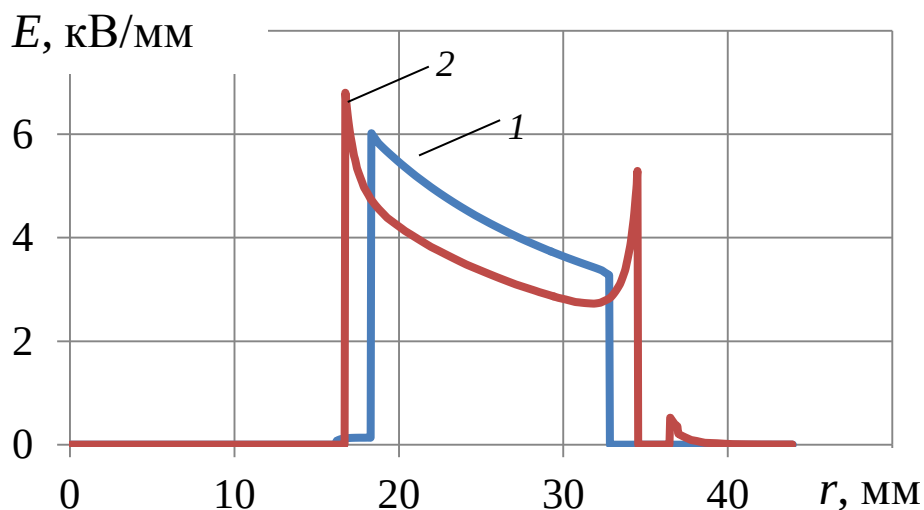


Рис. 4. Зависимость напряженности электрического поля от радиуса кабеля: 1 – заданная конструкция кабеля; 2 – при отсутствии полупроводящих экранов

Полупроводящие экраны в высоковольтных кабелях накладываются с целью выравнивания электрического поля кабеля. Картина напряженности электрического поля при отсутствии полупроводящих экранов представлена на рисунках 5 и 4,2.

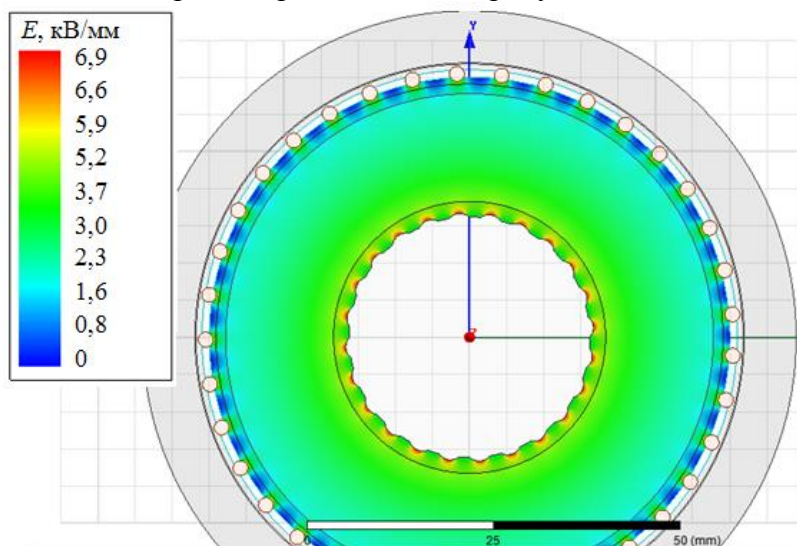


Рис. 5. Электрическое поле кабеля при отсутствии полупроводящих экранов

При отсутствии полупроводящих слоев имеет место локальное увеличение на 13% напряженности электрического поля вблизи неоднородностей поверхности жилы $E_{max}=6,9$ кВ/мм. Значительная напряженность $E=5,4$ кВ/мм возникает также вблизи проволок медного экрана.

Полученные результаты могут быть полезны при анализе причины выхода из строя кабельных линий, а также при конструировании кабельных изделий.

Список литературы

1. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2007. 896 с.
2. Справочник по электротехническим материалам. Т.2 Под редакцией Ю.В.Корицкого и др. 3-е издание, переработанное. Москва: Энергоатомиздат, 1987.
3. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов – М, Мир. 1979. 392 с.

05.13.18

А.Г. Щербинин д.т.н., Д.А. Шишкин, А.С Мансуров

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ТОКОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Построена математическая модель тепловых процессов силового кабеля. Методом конечных элементов решена задача стационарного процесса теплопроводности кабельной линии. Определены токовые нагрузки кабелей для различных способов прокладки и схем заземления экранов.

Ключевые слова: математическая модель, температурное поле, силовой кабель, рабочие токи.

Величина токовой нагрузки кабельных линий во многом определяется способом прокладки (треугольником, в горизонтальной плоскости), схемой заземления экранов (двустороннее заземление, заземление с транспозицией экранов [1]), а так же условиями окружающей среды. Рассмотрим задачу определения рабочих токов кабелей марки АПвВ 1х800/120-64/110, применяемых для стационарной прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях, по температурным полям, рассчитанным методом конечных элементов [2].

На рис. 1,а приведен способ прокладки кабельной линии сформированной из трех кабелей в горизонтальной плоскости, а на рис. 1,б – треугольником.

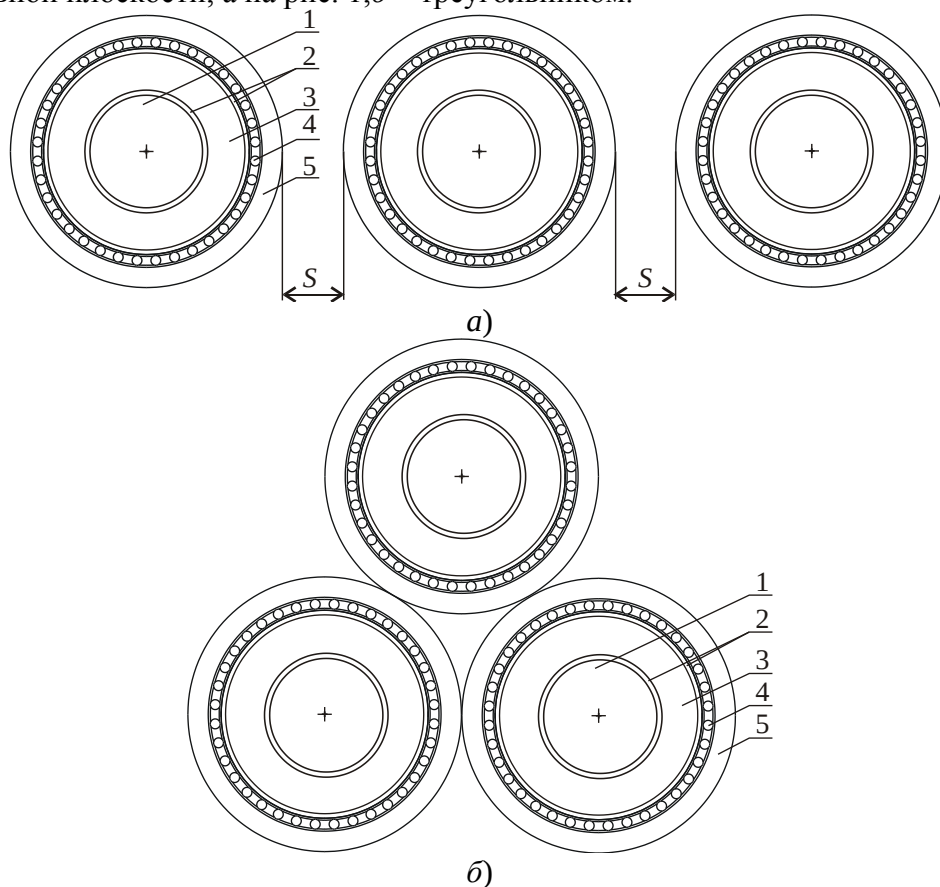


Рис. 1. Кабели марки АПвВ на напряжение 110 кВ. а – в горизонтальной плоскости; б – треугольником. 1 – токопроводящая жила;

2 – два слоя экрана из полупроводящего вулканизированного полиэтилена;
3 – изоляция из вулканизированного полиэтилена; 4 – экран из медных проволок;
5 – оболочка из ПВХ-пластиката.

При решении температурной задачи для кабельной линии сделаны следующие допущения: задача двумерная стационарная; изменение температуры вдоль кабеля не происходит.

С учетом сделанных допущений температурное поле в кабельной линии определяется из решения дифференциального уравнения теплопроводности [3]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + q_v = 0, \quad (1)$$

где t – температура, °C; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C); x и y – декартовы координаты, м; q_v – мощность внутренних источников тепла, Вт/м³. Источниками теплового воздействия являются токопроводящие жилы (ТПЖ) и медные экраны, по которым протекает ток.

На поверхности кабеля задается граничное условие третьего рода с коэффициентом теплоотдачи равным 10 Вт/(м²·°C), а на границе раздела материалов – граничное условие 4-го рода [3].

Тепловыделение в токопроводящей жиле определяется по формуле

$$q_{vj} = I_j^2 R_j / F_j, \quad (2)$$

где I_j – ток, А; R – электрическое сопротивление ТПЖ, Ом/м; F_j – площадь поперечного сечения ТПЖ, м².

В трехфазной линии, организованной из трех одножильных кабелей, тепловые потери в экране рассчитываются через тепловые потери в жиле [1]

$$q_{v\epsilon} = y_\epsilon I_j^2 R_j / F_\epsilon, \quad (3)$$

где F_ϵ – площадь поперечного сечения токопроводящей жилы, м²; y_ϵ – коэффициент, рассчитываемый по ГОСТ Р МЭК 60287. Необходимо отметить, что в ток в экранах кабельных линий с транспозицией практически равен нулю [1].

Значения коэффициентов теплопроводности материалов конструктивных элементов кабеля приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты теплопроводности материалов

Материал	Алюминий	Медь	Полиэтилен	Нетканое полотно	ПВХ-пластикат
λ , Вт/(м·°C)	204	384	0,286	0,2	0,25

Рабочий ток кабельной линии определяется по допустимой рабочей температуре изоляции кабелей, которая для сшитого полиэтилена составляет 90°C.

Для определения рабочих токов кабельных линий была организована итерационная процедура, в которой на каждом итерационном шаге решалось уравнение теплопроводности (1) методом конечных элементов и определялось температурное поле кабелей. Далее подбиралось такое значение рабочего тока, при котором максимальная температура в токопроводящей жиле с заданной точностью не превышала 90°C [4].

Сетка конечных элементов модели представлена на рисунке 2. Число элементов сетки – 25856.

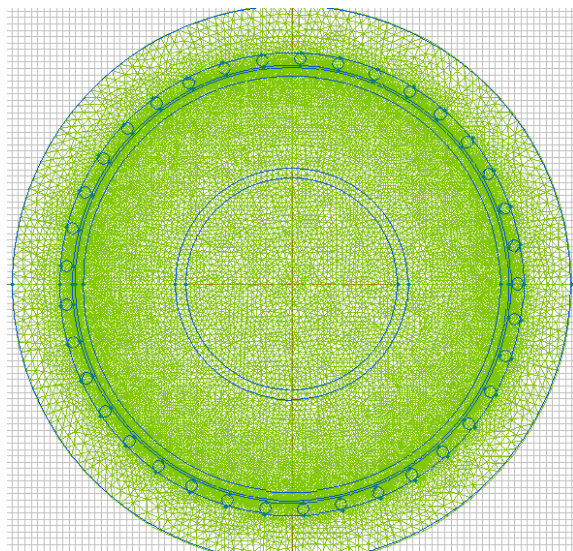


Рис. 2. Поперечное сечение кабеля с разбивкой на конечные элементы

На рис. 3 приведено температурное поле кабелей, расположенных треугольником. Величина токовой нагрузки составляет 1250 А, а ток экрана – 374 А.

Результаты расчетов рабочих токов кабельных линий для различных способов прокладки и схем заземления экранов сведены в таблицу 2. В таблице также приведены значения токов в экранах и отношение тепловых потерь между экраном и ТПЖ.

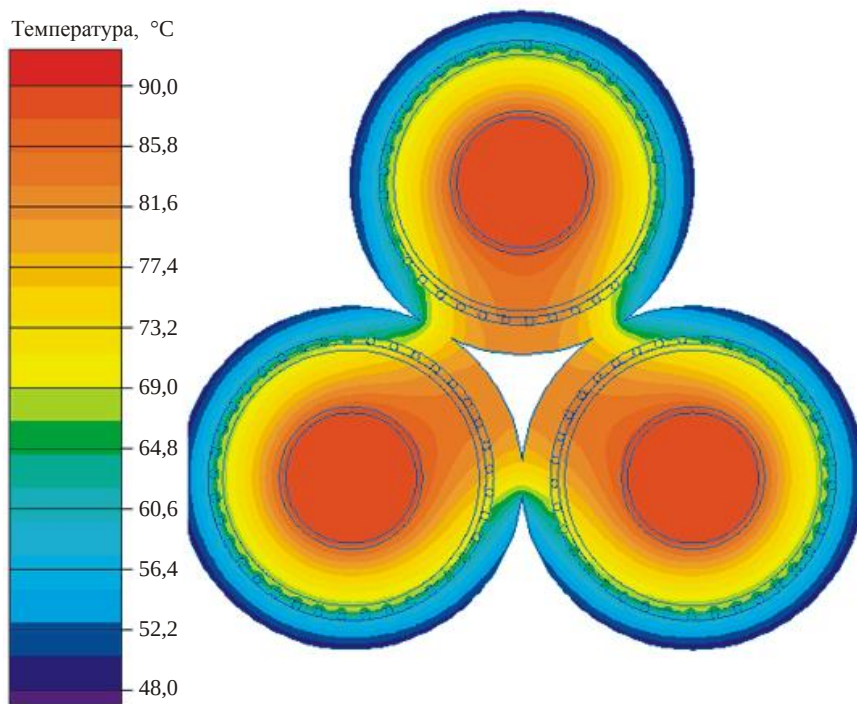


Рис. 3. Температурное поле кабельной линии при прокладке треугольником

Таблица 2 – Допустимые токовые нагрузки кабельных линий

Способ прокладки и заземления экранов	Допустимый ток жилы, А	Ток экрана, А	$P_{\text{э}}/P_{\text{ж}}$
Треугольником, двустороннее заземление	1250	374	0,35
В плоскости, полный цикл транспозиции, $S=D_{\text{к}}$	1480	0	0
В плоскости, двустороннее заземление, $S=0,5D_{\text{к}}$	1170	659	1,25
В плоскости, двустороннее заземление, $S=D_{\text{к}}$	1125	701	1,53
В плоскости, двустороннее заземление, $S=2D_{\text{к}}$	1070	741	1,89

Как видно из таблицы 2 наилучшим способом прокладки является прокладка в плоскости с транспозицией экранов, допустимый ток составляет 1480 А. При прокладке треугольником наводимый ток в экранах ниже, чем при прокладке в плоскости без транспозиции. Рабочий ток при прокладке треугольником составляет 1250 А. При прокладке кабелей в плоскости без транспозиции большой вклад по снижению токовой нагрузки оказывают тепловые потери в экранах. Видно, что при увеличении расстояния между кабелями растут токи в экранах и снижаются рабочие токи.

Список литературы

1. *Дмитриев М.В., Евдоухин Г.А.* Заземление экранов однофазных силовых кабелей высокого напряжения. СПб. 2008. 152 с.
2. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов – М, Мир.1979. 392 с.
3. *Михеев М.А., Михеева И.М.* Основы теплопередачи. – М.: Энергия. 2010 343с.
4. *Щербинин А.Г., Труфанова Н.М., Савченко В.Г.* Определение токовых нагрузок кабелей // *Электротехника*. 2010. № 6. С. 61–64.

05.21.03

А.И. Юсупова, И.Г. Шайхиев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
факультет экологической, технологической и информационной безопасности,
кафедра Инженерной экологии, г. Казань, lilya2965@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ МОДЕЛЬНЫХ СТОКОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИОНЫ Cu(II) , ОПИЛКАМИ И ЭКСТРАКТАМИ ИЗ КОРЫ *QUERCUS ROBUR*

Исследована возможность использования опилок из коры дуба в качестве сорбционного материала для извлечения ионов Cu(II) из модельного раствора с исходной концентрацией 1000 мг/дм^3 в статических условиях. Определена эффективность использования экстрактов из опилок коры дуба для очистки модельного раствора, содержащего ионы Cu(II) . Установлено, что эффективность очистки при использовании экстракта для ионов меди (II) достигает 55 % при модификации экстракта щелочью.

Ключевые слова: опилки коры дуба, экстракт из опилок коры дуба, ионы меди, очистка

В настоящее время широкое распространение для удаления из водных сред ионов тяжелых металлов (ИТМ) получило использование отходов деревопереработки, содержащих в своем составе танины, способные взаимодействовать с ИТМ [1-4]. К таким деревьям относится дуб обыкновенный (*Quercus robur*). Так, например, ранее сообщалось о возможности использования опилок *Quercus coccifera* (Дуб шариконосный) [5] для удаления ИТМ из водных растворов.

В связи с вышеизложенным в настоящей работе исследовалось удаление ионов меди (II) из модельного раствора (МР) с использованием опилок коры дуба и экстрактов на их основе.

Первый этап работы заключался в определении кинетики удаления ионов Cu(II) исследуемым сорбционным материалом (СМ) в статических условиях. Исходная концентрация ионов Cu(II) в МР составила 1000 мг/дм^3 . Кинетические кривые удаления ионов Cu(II) в нейтральной и кислой средах из МР представлены на рис. 1, из которых очевидно, что наибольшее снижение концентрации искомых ионов в растворе происходит в течение первых 60 минут контактирования, в последующем остаточная концентрация ионов Cu(II) уменьшается незначительно. Отмечено, что в кислой среде сорбция ионов Cu^{2+} протекает несколько хуже, чем в нейтральной среде, что очевидно при сравнении графиков, приведенных на рис 1.

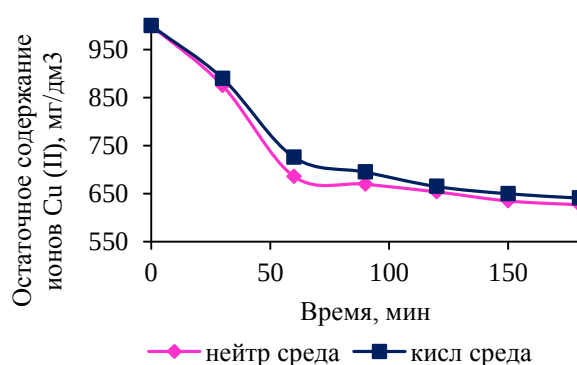


Рис. 2 - Графики снижения концентрации ионов Cu(II) при использовании опилок коры дуба

Результаты исследования сорбционных свойств СМ по отношению к ионам Cu(II) позволяют судить о невысокой сорбционной способности опилок, что создает определенные трудности при очистке водных потоков с высокими концентрациями названных ионов.

В последнее время появились публикации, посвященные применению продуктов экстрактивной переработки древесных отходов для очистки сточных и от различных видов поллютантов. Такое сырье содержит природные биологически активные вещества, процесс выделения которых из отходов в большинстве случаев выгоднее химического синтеза [6].

В связи с вышеизложенным, на следующем этапе работы исследовалась очистка МР от ионов Cu^{2+} с использованием экстракта из опилок коры дуба (ЭКД). Основываясь на физико-химических свойствах иона Cu^{2+} , а именно, на характере взаимодействия их в различных средах ЭКД подвергался следующей обработке путем: 1) подщелачивания экстракта 0,1 Н раствором NaOH (ЭКДщел); 2) подкисления экстракта 0,1 Н раствором H_2SO_4 (ЭКДкис).

В таблице 1 представлены физико-химические показатели исходных ЭКД, ЭКДкис, ЭКДщел.

Таблица 1- Физико-химические показатели ЭКД, ЭКДкис, ЭКДщел

Показатель	ЭКД	ЭКДкис	ЭКДщел
рН	4,71	2,04	8,54
Плотность, г/см ³	1,0003	0,9922	1,0026
ХПК, мг O_2 /дм ³	10150	8800	9600
Светопропускание (Т), %	32	35	18
Оптическая плотность (D)	0,49	0,45	0,75
Цвет	Корич.	Темно-корич.	Черный

При приливании экстрактов к МР в различных соотношениях (1,00:10), (1,00:5,00), (1,00:2,5), (1,00:1,67), (1,00:1,25), (1,00:1,00) наблюдалось образование темно-коричневого осадка, который отфильтровывался, а в фильтратах определялись физико-химические показатели. Проведенными анализами установлено, что во всех случаях значения ХПК смесевых растворов с увеличением количества добавляемых к МР экстрактов повышаются, что закономерно, так как последние имеют высокое содержание органических соединений, что подтверждается начальными значениями ХПК.

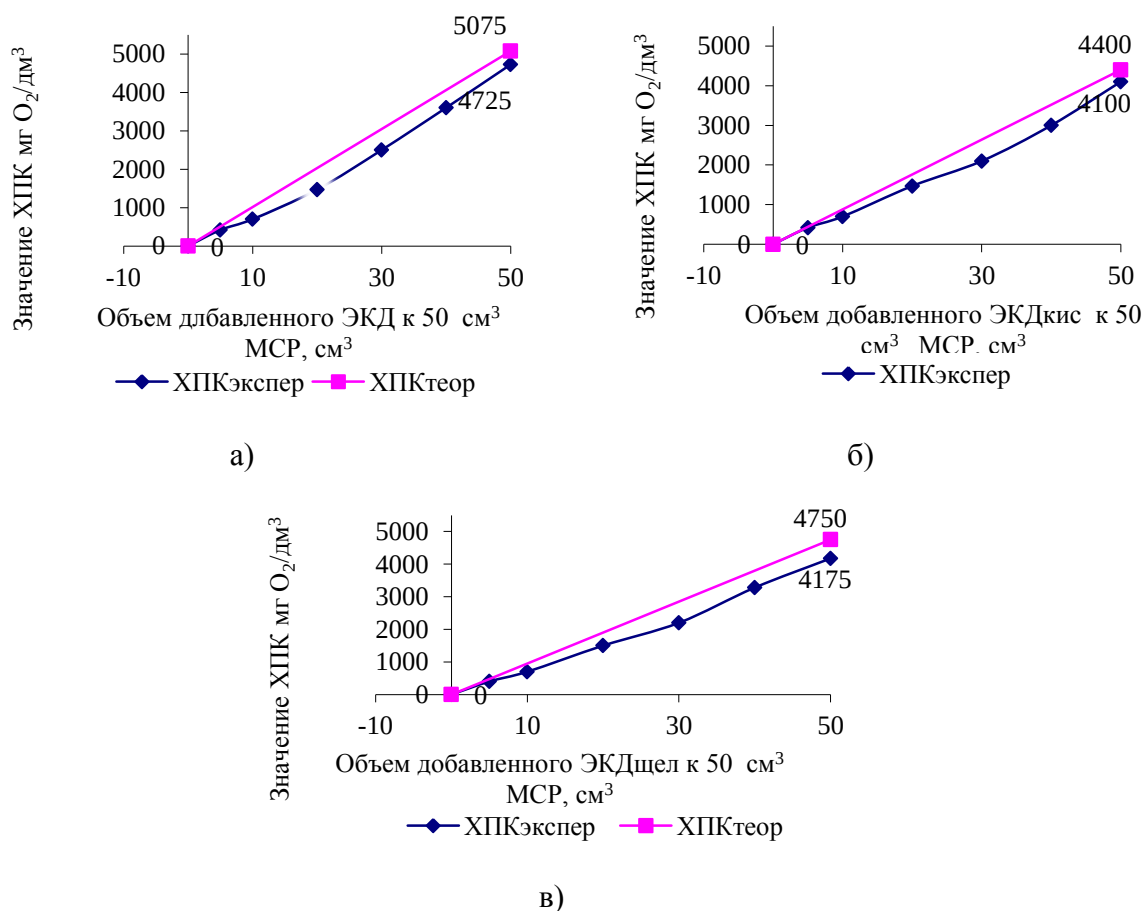


Рис. 2 - График зависимости изменения значения ХПК медьсодержащих растворов от объема добавленного экстракта из опилок коры дуба:
а) в нейтральной среде; б) в кислой среде; в) в щелочной среде

Верхние линии на графиках (рис. 2) показывают изменение значений ХПК, получившиеся в результате смешения дистиллированной воды с экстрактами в результате простого разбавления в указанных ранее пропорциях (эксперимент сравнения). Нижние линии демонстрируют зависимость изменения значений ХПК смесевых фильтратов после отделения образовавшегося осадка (рис. 2). Разница между значениями ХПК холостого опыта и смесевого фильтрата показывает, какое количество органических соединений, входящих в состав экстракта, участвует в реакциях комплексообразования с ИТМ. Значение искомого параметра составило $575 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$ при соотношении МСР :ЭКДшел = 1 : 1.

Построены графики зависимости остаточного содержания ионов Cu(II) в МР от объема добавленного ЭКД в различных средах (рис. 3)

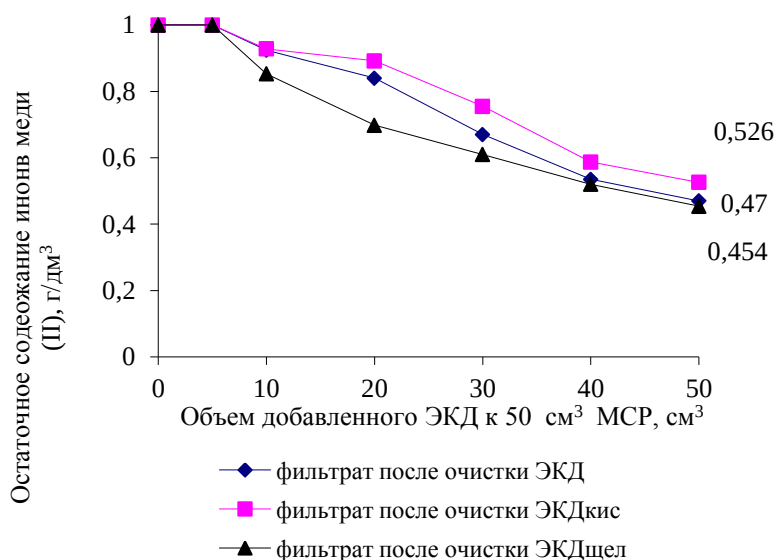


Рисунок 3 - График зависимости изменения остаточной концентрации медьсодержащего раствора от объема добавленного экстракта из опилок коры дуба

По отношению к ионам Cu(II) максимальная эффективность очистки составляет - 54,6 % соответственно при приливании подщелаченных ЭКД к МР в соотношении 1:1.

Выводы. Проведенными исследованиями по изучению возможности очистки высококонцентрированных растворов, содержащих ионы Cu(II) показано, что экстракты, приготовленные на основе опилок коры дуба обладают более высокой сорбционной емкостью по отношению к ИТМ, чем использование высушенных опилок из коры дуба в качестве СМ.

Список литературы

1. Stankovic V. [and ets.] Heavy metals ions adsorption from mine waters dy sawdust // Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly. - 2009. - Vol. 15, № 4. - P. 237-249.
2. Fiset J.F. [and ets.] Revue sur l'enlèvement des métaux des effluents par adsorption sur sciure et les écorces de bois // Rev. Sci. Eau. - 2000. - Vol. 13, № 3. - P. 325-349.
3. Volesky B., Holan Z.R. Biosorption of heavy metals: A review // Biotechnol. Prog. - 1995. - № 11. - P. 235-250.
4. Тимофеева С. С., Лыкова О. В. Извлечение металлов из сточных вод гальванических производств адсорбцией на отходах деревообрабатывающей промышленности // Иркут. политехн. инс-т. - Иркутск, 1985. - 38 с. - Деп. в ОНИИТЭхим 09.10.85, № 994-хп.
5. Argun M. E. [and ets.] Heavy metal adsorption by modified oak sawdust: thermodynamiks and kinetics // Journal Hazardous Materials. - 2007. - Vol. 141, № 1. - P.77-85.
6. Сергиенко В. И., Земнухова Л. А., Егоров А. Г. Возобновляемые источники химического сырья: комплексная переработка отходов производства риса и гречихи // Журнал Рос.хим. общества им. Д. И. Менделеева. - 2004. - т. 48. - № 3. - С. 116-124.

05.13.06

Д.А. Яковлев

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», кафедра «Электроэнергетика», Абакан, jakovlev_d_al@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СТОХАСТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В работе исследуются алгоритмы анализа динамики и синтеза систем управления в электротехнических системах с гидроагрегатами. На основе использования стохастических дифференциальных уравнений со случайно изменяющимися параметрами описываются нестационарные динамические процессы. Представлены результаты компьютерного моделирования решения задачи управления на основе адаптивных систем.

Ключевые слова: Электротехнические системы, гидрогенераторы, случайно изменяющиеся параметры, стохастические дифференциальные уравнения.

Для современной гидроэнергетики характерна тенденция всемерного повышения надежности и качества функционирования гидроэнергетического оборудования. Среди многих факторов, определяющих точность и безотказность работы электротехнических систем (далее - ЭТС) с гидроагрегатами, существенное влияние имеют динамические процессы, происходящие в нормальных и аварийных переходных режимах работы. Современные системы регулирования ЭТС с гидроагрегатами должны обеспечивать требуемое качество производимой электроэнергии, точность и надежность функционирования гидроэнергетического оборудования. Эти требования должны выполняться и в условиях случайной флуктуации параметров ЭТС.

Исследования таких систем регулирования при детерминированных возмущениях, например, ступенчатых или импульсных, позволяют определить структуру и параметры регулятора исходя из требований быстродействия и устойчивости. Однако большую часть времени эксплуатации регуляторы гидроагрегата не испытывают таких возмущений, а находятся под воздействием как малых отклонений «внутренних» параметров, носящих случайный характер (коэффициентов усиления, постоянных времени элементов, порогов срабатывания), так и внешних возмущающих факторов (колебания нагрузки у потребителей, оперативные переключения, аварийные переходные режимы и т.д.). Это приводит к тому, что строго неизменного режима работы гидроагрегата не существует и установившийся режим представляет собой ряд переходных процессов, вызванных возмущениями, которые происходят непрерывно и на которые реагируют соответствующие регулирующие устройства. В этом случае отклонения «внутренних» параметров при изменениях режимных параметров в процессе эксплуатации могут оказывать существенное влияние на работу систем управления гидротурбинами и должны быть учтены как с условиями, выдвигаемыми энергосистемой, так и с условиями эксплуатации ЭТС с гидроагрегатами [1, 2, 4].

Привлечение методов анализа, построенных с использованием стохастических дифференциальных уравнений (стохастического оператора) при исследовании динамики рассматриваемых ЭТС является наиболее адекватным. В классе объектов со случайными параметрами данный подход позволяет получить статистические характеристики координат состояния системы без традиционных допущений, касающихся статистической независимости случайных параметров и их малом отклонении. Важную роль при этом в решении вопросов построения прогнозирующей модели (ПМ) динамики ЭТС со случайными параметрами приобретают методы прогнозирования с использованием теории искусственных нейронных сетей (ИНС) [6].

Таким образом, повышение требований к качеству работы систем регулирования, а именно: точности, быстродействия, и сама логика научно-технического прогресса обуславливают необходимость поиска путей совершенствования методов анализа динамики

и синтеза систем управления гидроагрегатом. В этой связи предлагается взглянуть на проблему управления ЭТС с гидроагрегатом с точки зрения современной науки об управлении, т.е. с учетом стохастической природы процессов, протекающих в объекте.

Сформируем оптимальный закон управления исходной системой вида $u(k)=\varphi[x(k)]$ из условия минимума критерия со скользящим горизонтом управления λ . Для этого представим исходную систему в виде системы дискретных уравнений пространства состояний вида:

$$\begin{cases} x_{i+1}=A(\xi)x_{i+1}+Bu_i \\ y_i=Cx_i \end{cases}$$

где $x_k \in E^n$, $u_k \in E^n$ и $y_k \in E^n$ – векторы координат состояния, управления и наблюдения объекта в соответствующие дискретные моменты времени, $A(\xi)$, B и C – соответственно матрицы коэффициентов состояния, управления и наблюдения системы, $i = k+1, k+2, \dots, k+\lambda$, $k = 0, 1, 2$ – номер такта, определяющий дискретный момент времени $t = k\Delta t$, Δt – шаг дискретности; λ – горизонт прогноза.

Для решения задачи ПУ запишем уравнение наблюдаемых координат в следующем виде:

$$y = Lx + Mu,$$

где

$$L = \begin{pmatrix} CA(\xi) \\ C(A(\xi))^2 + C(A(\xi)) \\ \dots \\ \sum_{i=1}^{\lambda} C(A(\xi))^i \end{pmatrix}, \quad M = \begin{pmatrix} CB & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^{\lambda-1} C(A(\xi))^i B & \sum_{i=1}^{\lambda-2} C(A(\xi))^i B & CB \end{pmatrix}$$

Введем в рассмотрение вектор изменений управляющего воздействия на i шаге процесса управления

$$\Delta u_i = u_i - u_{i-1}$$

Тогда оптимизационная задача о поиске вектора Δu_i , минимизирующего на i интервале времени рассматриваемый функционал будет иметь вид:

$$J_i = \min M(\Delta u_i^T H \Delta u_i + 2f^T \Delta u_i + g)$$

$$H = M^T R M + Q$$

$$f = M^T R L p_k - M^T R r, \quad g = p_k^T L^T R L p_k + r^T R r - 2p_k^T L^T R r$$

где Q, R – матрицы весовых коэффициентов, $p_k = \begin{pmatrix} x_k - x_{k-1} \\ Cx_k \end{pmatrix}$ – вектор начальных условий, r – вектор желаемых значений координат состояния системы. При этом предполагая, что на каждом интервале должно выполняться ограничение на управление

$$u^- \leq u_i \leq u^+$$

$$\Delta u^- \leq \Delta u_i \leq \Delta u^+$$

и ограничение на переменные состояния координат системы

$$x^- \leq x_i \leq x^+$$

где u, x – заданные значения ограничений. Решение задачи определит оптимальное значение вектора Δu_i . При этом по формуле

$$u_i = u_{i-1} + \Delta u_i$$

определяется управление на текущем шаге, которое и подлежит реализации. Для последующего шага, в соответствии с общей идеологией ПУ, процесс вычислений оптимальной программной последовательности повторяется.

Вопрос о минимизации интегрального квадратичного функционала при наличии ограничений сводится к стандартной задаче численного анализа – задаче выпуклого квадратичного программирования, которая решена методом активных наборов [3].

С помощью разработанной модели исследовались статистические характеристики частоты вращения ротора турбины при нормальных переходных режимах вызванные случайным изменением постоянных времени механической энергии, водовода и сервомотора. При параметрах $T_c=0.2$, $T_a=1$, $T_j=8.37$, $K_H=2$, $\varepsilon=1$, $\eta=9$ нагрузка на собственные нужды составляла 10 МВт, активная нагрузка $P_{H2}=480$ МВт.

Алгоритм, с помощью которого реализована программа вероятностного анализа системы включает в себя следующие этапы.

1. Раскрытие статистических моментов M_{jv} .

Моменты раскрываются для заданного номера приближения v и $j=\overline{0,m}$ на основании выражения:

$$M_{jv} = M \left\{ [(P^n)^T \sum_{i=0}^{n-1} (\widetilde{C^{a_i}})^T (P^{-i})^T A_{x0}]^v (P^n)^T (C^{b_j}) (P^{-j})^T C^U \right\}$$

2. Вычисляется спектральная характеристика математического ожидания C^{mv} и автокорреляционная функция C^{RUU} сигнала управления.

3. Вычисляем:

$$C^{mv} = \int_0^T m^U(\tau) \Phi(\tau) d\tau,$$

$$C^{RUU} = \int_0^T \int_0^T R_{UU}(\tau_1, \tau_2) \Phi(\tau_1) \Phi^T(\tau_2) d\tau_1 d\tau_2$$

Аналогичным образом вычисляются спектральные характеристики A_{x0} , математических ожиданий, дисперсий и взаимных корреляционных моментов случайных коэффициентов.

4. Вычисление k -го приближения спектральной характеристики математического ожидания координат состояния ЭТС.

$$C^{mx} = A_{x0} \sum_{j=0}^m \sum_{v=0}^k (-1)^v \times M \left\{ [(P^n)^T \sum_{i=0}^{n-1} (\widetilde{C^{a_i}})^T (P^{-i})^T A_{x0}]^v (P^n)^T (C^{b_j}) (P^{-j})^T C^Y \right\}$$

5. Вычисление k -го приближения спектральной характеристики автокорреляционной функции координат состояния ЭТС.

При этом подставляется соответствующее приближение спектральной характеристики математического ожидания фазовых координат, вычисленное на предыдущих этапах.

6. Восстановление приближенных значений соответствующих статистических характеристик координат состояния ЭТС. При восстановлении значений статистических характеристик по их спектральным характеристикам используются алгоритмы обратных преобразований Фурье-Уолша [5].

На рисунках 1-3 представлены графики автокорреляционных функций отклонения частоты вращения в условиях случайного изменения постоянной времени механической энергии при возмущающем воздействии нагрузки.

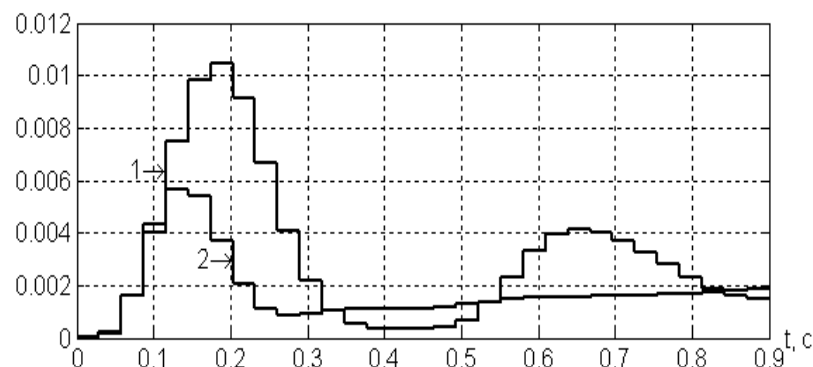


Рис. 1 — График дисперсии отклонения частоты вращения при случайном изменении T_c

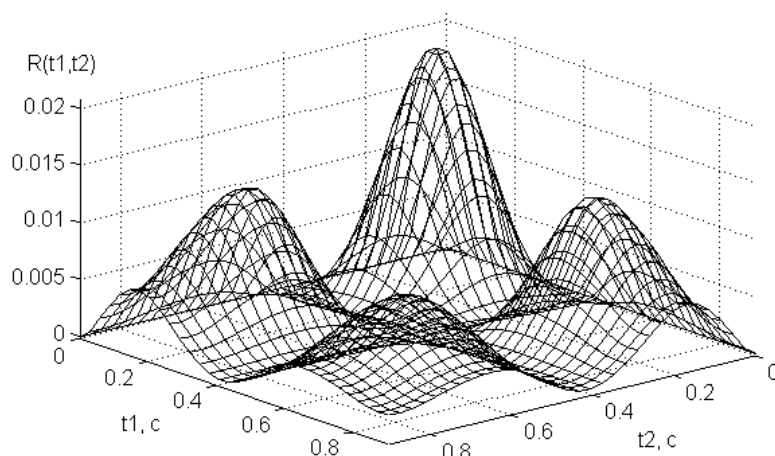


Рис. 2 — График автокорреляционной функции отклонения частоты вращения в системе с ПИ регулятором при случайном изменении T_j

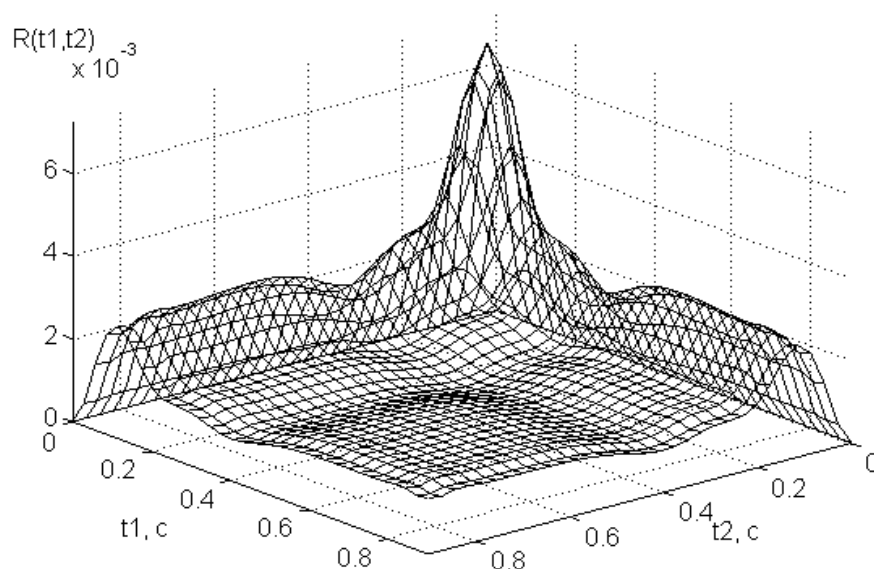


Рис. 3 — График автокорреляционной функции отклонения частоты вращения в системе с прогнозирующим регулятором при случайном изменении T_j

Из полученных статистических характеристик отклонения частоты вращения генератора видно, что наиболее существенное влияние на динамические процессы оказывает изменение постоянной времени механической энергии при ПИ законе регулирования. Система управления с прогнозирующим регулятором обеспечивает в три раза более быстрое затухание колебаний частоты, снижение амплитуды колебаний на 40-50 % и дисперсии в 2-2.5 раза, а также монотонность автокорреляционной функции, выражающей степень снижения отклонений. Полученные результаты, справедливые как при набросе так и сбросе части активной нагрузки, обеспечивают при использовании метода ПУ повышение точности функционирования АРЧВ и быстродействия.

В итоге разработки методов анализа динамики и синтеза прогнозирующего управления объектами ЭТС гидрогенератора данного класса получены следующие основные результаты.

Проведен анализ методов исследования и синтеза управления ЭТС в классе систем со случайно изменяющимися параметрами, в результате которого установлено:

- эффективным решением задачи синтеза управления ЭТС гидрогенераторов в классе систем со случайно изменяющимися параметрами является использование метода адаптивного управления с прогнозирующей моделью.

Разработаны компьютерные модели для анализа влияния случайного изменения параметров на динамику ЭТС гидрогенераторов, обладающие возможностью оптимизации параметров регуляторов, построенных на основе детерминированных законов управления ЭТС.

Проанализированы методы и алгоритмы получения статистических характеристик динамики систем со случайными параметрами на основе метода последовательных приближений. При решении задач статистического анализа координат ЭТС гидрогенераторов использован подход, основанный на применении стохастического оператора, который обладает следующими преимуществами:

- проведением анализа без упрощающих допущений о стационарности сигнала управления и случайных параметров ЭТС гидрогенераторов, а также без традиционных допущений касающихся статистической независимости случайных параметров от координат состояния и их малом отклонении;

- возможностью анализа ЭТС гидрогенераторов при различных законах распределения вероятности для коэффициентов исходного стохастического дифференциального уравнения;

- способностью достижения необходимой точности получаемых результатов, зависящей только от числа удерживаемых членов ряда в выражении для стохастического оператора;

- ориентацией на использование ЭВМ и возможность создания эффективных алгоритмов с высокой степенью параллельности вычислений.

Список литературы

1. Брызгалов, В. И. Гидроэлектростанции: учеб. пособие / В. И. Брызгалов, Л. А. Гордон. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002, С. 541
2. Веников, В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах/ В. А. Веников – М.: Высш. шк., 1985. – С. 536
3. Гилл, Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985.
4. Красовский, Н. Н. Аналитическое конструирование регуляторов в системах со случайными свойствами / Н. Н. Красовский, Э.А. Лидский // «Автоматика и телемеханика»: В 22 т. – 1961. – №9-11.
5. Лапин, С. В. Теория матричных операторов и ее приложение к задачам автоматического управления / С. В. Лапин, Н. Д. Егупов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1997. – 496с.
6. Терехов, В. А. Нейросетевые системы управления: учеб. пособие для вузов / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин.– М.: Высш. шк., 2002. – 183 с.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, В.К. Половник
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ И
ИНГИБИТОРНОГО ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ МОНО-,
ТЕТРА-, ПЕНТАБОРАТ НАТРИЯ –
ЭТИЛЕНДИАМИН – ВОДА ПРИ 25°C.

*Ключевые слова: системы, бораты натрия,
этилендиамин, ингибиторы коррозии металлов*

*Представлены результаты изучения растворимости
и ингибиторного действия систем моно-, тетра-,
пентаборат натрия – этилендиамин – вода при 25°C.
Установлено, что аминоборатные композиции
являются эффективными ингибиторами коррозии
металлов.*

П.С. Андреев, Ю.Г. Коноплев, О.А. Саченков,
Р.Ф. Хасанов, И.В. Яшина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
РОТАЦИОННОЙ ФЛЕКСИОННОЙ ОСТЕОТОМИИ

*Ключевые слова: биомеханика, тазобедренный сустав,
болезнь Легга-Кальве-Пертеса, математическое
моделирование, ротационная остеотомия*

*В работе представлены результаты исследования
биомеханики нового метода лечения болезни Легга-
Кальве-Пертеса. Была построена математическая
модель тазобедренного сустава с учетом основной
группы мышц, проведены численные расчеты
ротационной флексии остеотомии. Результаты
сравнивались с клиническими исследованиями.*

А.Ю. Горохов, А.И. Хандарзянова
СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
ОПОРНОЙ СТАНИНЫ САМОХОДНОГО
АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУДИЯ

*Ключевые слова: конечно-элементная модель,
динамический расчет, коэффициент демпфирования,
устойчивость*

*Построена модель опорной станины самоходного
артиллерийского орудия (САО) в соответствии с
технической документацией. Задача разделена на 3
этапа: анализ напряженно-деформированного
состояния конструкции, динамический расчет,
исследование коэффициента демпфирования. В
результате расчётов получены: максимальные
значения напряжения, которые не превышают предел
прочности и текучести; графики зависимости
перемещений и напряжений от времени; зависимость
перемещения и напряжения от коэффициента
демпфирования. Установлено, что конструкция
станины обеспечивает орудью устойчивость и
необходимый угол обстрела в рабочем состоянии.*

П.И. Дергунов

МОЛЕКУЛЯРНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
СИСТЕМЫ АДсорбЕНТ-АДсорБАТ ДЛЯ
ОПИСАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ

*Ключевые слова: адсорбционные явления, деформация
адсорбента, конденсированное состояние,
микропористые адсорбенты, межмолекулярные
потенциалы парного взаимодействия*

I.V. Fadeev, Sh.V. Sadetdinov, V.K. Polovnik
INVESTIGATION OF THE SOLUBILITY AND
INHIBITORY ACTIONS SYSTEMS OF MONO-,
TETRA-, PENTABORATE OF SODIUM -
ETHYLENEDIAMINE - WATER AT 25°C

*Keywords: system, borates of sodium, ethylenediamine,
inhibitors of corrosion of metals*

*Presents results of a study of the solubility and inhibitory
systems of mono-, tetra-, pentaborate of sodium -
ethylenediamine - water at 25°C. Established that
aminoborate compositions are effective inhibitors of
corrosion of metals.*

P.S. Andreyev, Yu.G. Konoplev, O.A. Sachenkov,
R.F. Khasanov, I.V. Yashina

MATHEMATICAL MODELING OF ROTARY
FLEXION OSTEOTOMY

*Keywords: biomechanics, hip, Legg-Calve-Perthes
disease, mathematical modeling, rotational osteotomy.
The paper presents the results of a study of biomechanics
new treatment Legg-Calve-Perthes disease. Was a
mathematical model of the hip joint with the main muscle
groups, the numerical calculations of rotational flexion
osteotomy. The results were compared with clinical
trials.*

A.Yu. Gorokhov, A.I. Handarzyanova
STATIC AND DYNAMIC CALCULATION OF THE
REFERENCE FRAME OF SELF-PROPELLED
ARTILLERY

*Keywords: finite element model, the dynamic calculation,
the damping coefficient, stability*

*A model base frame self-propelled artillery guns in
accordance with the technical documentation. After
debugging and implementation of the finite element
discretization model applied forces and moments, which
are introduced as a pair of forces. The problem is further
divided into three phases: analysis of the stress -strain
state of the structure, dynamics calculation was carried
out in a certain period of time and change on each time
step torque and force study of the damping coefficient. In
the first stage, the maximum received voltage values
which do not exceed the yield strength and tensile
strength. In the second stage of the model is taken from
the static part of the result obtained in the plots of the
movement of the voltage. The third part includes plotting
the displacements and stresses on the damping factor.*

P.I. Dergunov

MODELING OF THE ADSORBENT-ADSORBAT
INTERACTIONS TO DESCRIBE DEFORMATION
PHENOMENA

*Keywords: adsorption, adsorption deformation,
condensed state, interaction of the van der Waals' type,
microporous adsorbents*

This paper presents the results of the study of sorption

В работе рассматривается вопрос описания адсорбционного равновесия с учетом неинертности адсорбента. Предложена молекулярно-статистическая модель системы адсорбент – адсорбат, использующая межмолекулярные потенциалы парного взаимодействия для численных расчетов величины адсорбционной деформации адсорбентов.

П.И. Дергунов

ТЕОРИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АДСОРБЕНТА С УЧЕТОМ ЕГО ДЕФОРМАЦИИ

Ключевые слова: адсорбционные явления, деформация адсорбента, конденсированное состояние, микропористые адсорбенты, термодинамические характеристики

В работе рассматривается вопрос описания адсорбционного равновесия с учетом неинертности адсорбента. Предложен подход к определению термодинамических характеристик адсорбента. Показана необходимость учета деформационных явления при адсорбции.

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО И РАСШИРЕНИЕ ГИПОТЕЗЫ
ЛЕЖАНДРА В ТЕОРИИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Ключевые слова: решето Эратосфена, буферные зоны, сумма арифметических прогрессий, гипотеза Лежандра

Аналитически доказано, что между двумя квадратами последовательных натуральных чисел, а также некоторыми другими числами, находится хотя бы одно простое число. Доказательство основано на выделении двух буферных зон на классическом решете Эратосфена и применении функции Эйлера о взаимно простых числах.

Р.А. Кастро, Е.Н. Лушин, Е.А. Пазников,
В.Н. Пак, П.В. Петреков

ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА
ОСНОВЕ ПОЛИ-N-МЕТИЛАЛЛИЛ-5-
ВИНИЛТЕТРАЗОЛА

Ключевые слова: полимер, тетразол, тепловые эффекты

В работе исследованы свойства композиционных материалов на основе поли-N-метилаллил-5-винилтетразола (МПВТ-А), полученных с использованием различных отвердителей, и возможности химического модифицирования для повышения их термостойкости. Обнаружено, что введение в полимерную матрицу МПВТ-А наполнителей KCl и KNO₃ приводит к стабилизации структуры и снижению потерь массы при повышении температуры.

Д.И. Ливеровский, С.П. Шевырев

ЧИСЛЕННОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ
ЭЙЛЕРА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ
ТЯЖЕЛОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ СО
СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Ключевые слова: метод Давыдова, движение

equilibrium taking into account noninertness of the sorbent. Present an approach to description of adsorbent – adsorbate interaction of the van der Waals' type for calculation adsorption deformation of microporous carbon adsorbent and gases.

P.I. Dergunov

A THEORETICAL APPROACH TO THE
DEFINITION OF THERMODYNAMIC FUNCTIONS
OF ADSORBENT TAKING INTO ACCOUNT THE
DEFORMATION PHENOMENA

Keywords: adsorption, adsorption deformation, condensed state, microporous adsorbents, thermodynamic functions

This paper presents the results of the study of sorption equilibrium. Present an approach to description thermodynamic functions of adsorbent taking into account noninertness of the sorbent.

V.V. Drushinin, A.A. Lazarev

EVIDENCE AND EXPANSION HYPOTHESIS
LEGENDRE IN THE THEORY OF PRIME
NUMBERS

Keywords: Sieve of Eratosthenes, buffer zones, the amount of arithmetic progressions, Legendre conjecture. Analytically proved that the two squares of consecutive integers, as well as some of the other numbers, there is at least one prime number. The proof is based on the separation of the two buffer zones on the classical sieve of Eratosthenes and the application of the Euler function of comprise.

R.A. Castro, E.N. Lushin, E.A. Paznikov,
V.N. Pak, P.V. Petrekov

THERMOANALYTICAL STUDY MODIFIED
POLYMERS BASED POLY-N-METHYLALLYL-5-
VINYLTETRAZOLE

Keywords: polymer, tetrazol, thermal effects

The properties of composite materials based on poly-N-methylallyl-5-vinyltetrazole (MPVT-A) obtained using different curing agents, and the possibility of chemical modification to enhance their thermal stability. The introduction of the polymer matrix MPVT-A fillers KCl and KNO₃ results in stabilization of the structure and reduce weight losses at higher temperatures.

D.I. Liverovskiy, S.P. Shevirev

NUMERICAL INTEGRATION OF THE EULER
EQUATIONS FOR THE SIMULATION OF HEAVY
INCOMPRESSIBLE FLUID WITH FREE SURFACE

Keywords: Davydov's method, fluid flow, method of large particles.

жидкости, метод крупных частиц

Данное исследование посвящено модификации метода Давыдова (крупных частиц) для случая несжимаемой жидкости. Рассматривается моделирование течения тяжелой несжимаемой невязкой жидкости модифицированным методом Давыдова в двумерном случае. Кроме того, проводится сравнение полученных результатов с данными, полученными с помощью пакета OpenFOAM.

Е.А. Нащинцев

**РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИИ КРЕНА ВЫСОТНОГО
ОБЪЕКТА НА БАЗЕ МОДЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ
ОДНООСНОГО ДВУХСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ**

*Ключевые слова: бифуркационная устойчивость,
критическая нагрузка, экспоненциальный закон
деформирования*

В работе представлены результаты расчет деформаций крена высотного объекта на базе неоднородном упруго-пластичном основании.

Е.А. Нащинцев

**МОДЕЛЬНАЯ ЗАДАЧА УСТОЙЧИВОСТИ И
ДЕФОРМАЦИИ КРЕНА ВЫСОТНОГО ОБЪЕКТА
НА БАЗЕ ОДНООСНОЙ МОДЕЛИ УПРУГО-
ПЛАСТИЧНОГО ОСНОВАНИЯ**

*Ключевые слова: точка бифуркации, критическая
нагрузка, экспоненциальный закон деформирования,
метод конечных разностей*

В работе представлены результаты численного эксперимента расчета устойчивости и деформаций крена высотных объектов на упруго-пластичном основании.

**Н.А. Парфентьева, С.В. Труханов, В.Л. Кашинцева
РАСЧЕТЫ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В
СРЕДЕ С НЕПРОНИЦАЕМОЙ СТЕНКОЙ**

*Ключевые слова: Нестационарное поле концентрации,
вредные примеси, поглотитель, очистка воздуха,
непроницаемая граница*

Приводится решение задачи об определении поля концентрации частиц при работе поглотителя. Предлагаются формулы, по которым достаточно просто можно рассчитать время очистки воздуха от вредных примесей. Решение приводится в безразмерном виде, что дает возможность сделать расчеты для большого интервала значений коэффициента диффузии, размеров помещения и т.д.

**Н.А. Парфентьева, С.В. Труханов, Н.С. Сафонова
О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРИБЛИЖЕННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ
ТЕПЛОФИЗИКИ**

*Ключевые слова: потенциал, уравнение
теплопроводности, приближенное решение,
коэффициенты переноса*

Приводятся примеры приближенного решения некоторых задач строительной теплофизики, таких как определение полей температуры, концентрации, влажности, давления. Рассматриваются решения задач в случае зависимости коэффициента переноса от потенциала. Показаны преимущества и необходимость получения приближенных решений в некоторых случаях.

This study focuses on modification of the method of Davydov (large particles) in the case of incompressible liquid. We consider the simulation of a heavy incompressible nonviscous fluid by Davydov's modified method in a two-dimensional case. Furthermore, a comparison of the results with those obtained using the OpenFOAM package is carried out.

E.A. Nashchintsev

**CALCULATION OF THE DEFORMATION ROLL
HIGH RISE ON THE BASIS OF TWO-LAYER
UNIAXIAL MODEL PROBLEM GROUNDS**

*Keywords: bifurcation stability, the critical load, the
exponential law of deformation.*

The results of the calculation of the deformation of heel tall objects on the basis of an inhomogeneous elastic-plastic base.

E.A. Nashchintsev

**MODEL PROBLEM OF STABILITY AND STRAIN
ROLL HIGH-RISE BUILDING ON THE BASIS
UNIAXIAL MODEL OF ELASTIC-PLASTIC BASE**

*Keywords: bifurcation point, the critical load, the
exponential law of deformation, finite difference method.
The paper presents the results of numerical experiments
for calculating the stability and deformation of high-rise
buildings on the bank of elastic-plastic base.*

**N.A. Parfentyeva, S.V. Truhanov, V.L. Kashintseva
FIELD CALCULATION THE IMPURITY
CONCENTRATION IN ENVIRONMENT WITH
IMPENETRABLE WALL**

*Keywords: Unsteady field concentration, contaminants,
absorber, air purification, impenetrable boundary
The solution of the problem of determining the field of
particle concentration at work absorber. Discount
formula, which simply can calculate the time of cleaning
the air from contaminants. Solution is given in
dimensionless form, which makes it possible to do the
calculations for a wide range of values of the diffusion
coefficient, size of the room, etc.*

**N.A. Parfentyeva, S.V. Truhanov, N.S. Safonova
ON RATIONALE BEHIND THE APPLICATION OF
APPROXIMATE ANALYTICAL METHODS TO THE
SOLUTION OF PROBLEMS OF CONSTRUCTION
THERMOPHYSICS**

*Keywords: Potential heat equation, an approximate
solution, the transport coefficients*

*Are examples of the approximate solution of some
problems of building physics, such as the definition of
the fields of temperature, concentration, humidity,
pressure. Consider problems that require solutions of the
heat equation, taking into consideration the convective
component of transport, as well as examples of solutions
in the case when the transfer coefficient of the potential.
It is shown the advantages and the need to obtain
approximate solutions in some cases.*

О.Ю. Сметанников, В.В. Зыков, К.А. Могильников
АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ НА БАЗЕ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ РАСЧЕТНЫХ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: динамика, многомассовая система, станина, прочность, ADAMS, ANSYS, MSC.Nastran, MSC.Patran.

В данной работе проведен сравнительный анализ подходов, моделей и инструментов, предназначенных для моделирования деформируемых (гибких) тел в пакетах MSC.Patran (MSC.Nastran), ANSYS совместно с программой динамического моделирования многотельных конструкций MSC.ADAMS. По полученным в ходе динамического расчета нагрузкам проведен прочностной анализ конечно-элементных моделей, входящих в сборку.

О.Ю. Сметанников, Г.В. Ильиных
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО
ПОВЕДЕНИЯ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ЛИТЬЕВЫХ
ПРОТОТИПОВ

Ключевые слова: литье по выжигаемым моделям, быстрое прототипирование, стереолитография, ячеистая структура, устойчивость, метод конечных элементов

В работе рассмотрена проблема потери устойчивости ячеистой структуры, служащей каркасом для литевых выжигаемых прототипов. Проверена способность использования данной структуры для решения проблемы растрескивания керамической формы в процессе выжигания прототипа. Найдены критерии сохранения устойчивости конструкции в процессе наплавления керамической формы на прототип. Определен момент потери устойчивости в процессе выжигания и его влияние на напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции.

О.Ю. Сметанников, Е.С. Михалев
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ ФОРМЫ
ЛИТЬЕВЫХ ПРОТОТИПОВ В ANSYS

Ключевые слова: Ansys, стереолитография, дефекты формы, фотополлимерный прототип

Представлена численная модель процесса стереолитографии (SLA) для изготовления фотополлимерных прототипов, реализованная в ANSYS. Предложена методика уменьшения дефектов формы путем модификации исходной геометрии. Выполнен сравнительный анализ отклонений формы после двух этапов расчета (с исходной и модифицированной геометрией) для трех вариантов конструктивного исполнения прототипа простейшей детали. Показано, что представленная методика позволяет снизить дефекты формы более чем в 5 раз.

М.Ю. Федотова
О СХОДИМОСТИ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ
СО СМЕНОЙ ТИПА ГРАНИЧНОГО УСЛОВИЯ НА
УЗКОЙ ПОЛОСКЕ

Ключевые слова: краевая задача; сингулярные возмущения; оператор Лапласа

В работе исследуется сходимость решений

O.Yu. Smetannikov, V.V. Zykov, K.A. Mogilnikov
ANALYSIS OF DURABILITY OF PRODUCTS
USING THE SPECIALIZED AUTOMATED
SYSTEMS

Keywords: Mechanics, dynamics, strength, flexible body, multibody system, MSC.ADAMS, ANSYS, MSC.Nastran, MSC.Patran

In this paper a comparative analysis of approaches, models and tools for the simulation of flexible bodies in CAE-programs with dynamic simulation of multibody structures MSC.ADAMS is carried out. Stress analysis basis on the received loads of the flexible component are performed.

O.Yu. Smetannikov, G.V. Ilinykh
THERMOMECHANICAL BEHAVIOUR OF
PHOTOPOLYMER CASTING PATTERNS
RESEARCH

Keywords: investment casting, rapid prototyping, stereolithography, cellular structure, buckling, finite element method

This paper considers the problem of cellular structure (as a skeleton of casting pattern) buckling. The ability of this structure to solve a problem of cracking in the ceramic mold burning prototype is checked. Criteria of construction's stability in process of mould's creation are founded. The moment of buckling in burning and its influence on the stresses and strains of construction are determined.

O.Yu. Smetannikov, Ye.S. Mikhalev
NUMERICAL MODELING TECHNOLOGICAL
DEFECTS FORMS INJECTED PROTOTYPES IN
ANSYS

Keywords: stereolithography, ANSYS, defects forms, photopolymer prototype

The numerical model of the stereolithography (SLA) process for the photopolymer prototypes manufacture is realized in ANSYS. A method for reducing shape deviations by modifying the original geometry is proposed. Comparative analysis the of the shape defects after two calculation steps (with original and modified geometry) for three variants of a prototype design is done. Shown that the presented method can reduce that deviations more than 5 times.

M.Yu. Fedotova
ON THE CONVERGENCE OF SOLUTIONS OF
DIRICHLET PROBLEM WITH SWITCHING OF
TYPE OF BOUNDARY CONDITION ON A
NARROW STRIP

Keywords: boundary – value problem; singular perturbation; Laplace operator.

сингулярно – возмущенной краевой задачи Дирихле в трехмерной ограниченной области со сменой типа граничного условия на узкой полосе.

А.С. Торозова, В.П. Молчанов, П. Мяки-Арвела,
К. П. Волчо, Н. Ф. Салахутдинов, Д. Ю. Мурзин
КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ИЗОМЕРИЗАЦИЯ ЭПОКСИДА
ВЕРБЕНОЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕОЛИТОВ

Ключевые слова: цеолиты, изомеризация, эпоксид
вербенола, противосудорожная активность

В данной работе представлены результаты по изучению изомеризации эпоксидов вербенола на цеолитах с различной структурой: H-USY-80 и H-ZSM-5-80. Целевым продуктом изомеризации является транс-диол ((1R,2R,6S)-3-метил-6-(проп-1-ен-2-ил)циклогекс-3-ен-1,2-диол), обладающий высокой активностью в отношении симптомов болезни Паркинсона.

Е.А. Фарберова, Л.И. Павлова, Е.А. Тиньгаева,
В.Г. Рябов, Е.М. Великий

АДСОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
АКТИВНЫХ УГЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНТРАЦИТА

Ключевые слова: ископаемые каменные угли,
активные угли, антрацит, каменноугольная смола,
адсорбционная активность.

В работе представлены результаты изучения свойств дробленых и гранулированных активных углей, полученных на основе антрацита. Исследовано влияние модифицирующих добавок KOH и K₂CO₃, используемых на разных стадиях технологического процесса переработки антрацита на свойства получаемых активных углей на его основе. Показана возможность использования антрацита Ростовского месторождения в качестве сырья для получения ГАУ.

Е.А. Фарберова, Н.А. Чиркова, Н.Б. Ходяшев,
Е.А. Тиньгаева

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ
МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Ключевые слова: ископаемые каменные угли, активные
угли, инфракрасная спектроскопия, степень
метаморфизма, степень ароматичности

В работе представлены результаты изучения ископаемых каменных углей методом инфракрасной спектроскопии. Установлена возможность использования указанного метода для определения степени ароматичности значительной группы ископаемых с целью прогнозирования их пригодности для получения активных углей.

А.И. Акимов

ЗАДАЧА ОБ ОХЛАЖДЕНИИ СПЛОШНОГО
МНОГОСЛОЙНОГО ЦИЛИНДРА ИЗ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В
УСТАНОВКАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕДЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Ключевые слова: производство композиционных
материалов, системы управления, полимеризация,
термонаряжения

В работе представлены результаты изучения охлаждения композиционных материалов под действием температуры окружающей среды после

In this paper, we study the convergence of solutions of singularly perturbed boundary-value Dirichlet problem in three-dimensional bounded domains variation of boundary conditions on a narrow strip.

A.S. Torozova, V.P. Molchanov, P. Mäki-Arvela,
K.P. Volcho, N.F. Salakhutdinov, D.Yu. Murzin
CATALYTIC ISOMERISATION OF VERBENOL
EPOXIDE OVER ZEOLITES

Keywords: zeolites, isomerisation, verbenol oxide,
anticonvulsant activity

This paper presents the results of a study of the verbenol epoxide isomerisation on zeolites with different structure: H-USY-80 and H-ZSM-5-80. The target product is trans -diol ((1R, 2R, 6S) -3-methyl-6-(prop-1-en-2-yl) cyclohex-3-ene-1,2-diol) having a high anticonvulsant activity.

Е.А. Фарберова, Л.И. Павлова, Е.А. Тиньгаева,
В.Г. Рябов, Е.М. Великий

THE ADSORPTION CHARACTERISTICS OF
ACTIVATED CARBONS ANTHRACITE-BASED

Keywords: fossil coals, activated carbons, anthracite,
coal tar, adsorption activity

The results of studying the properties of crushed and granulated activated carbons derived from anthracite. The influence of modifying additives KOH and K₂CO₃, used at different stages of technological process on the properties of anthracite derived activated carbons based on it. The possibility of using anthracite Rostov field as a raw material for the GAC is shown.

Е.А. Фарберова, Н.А. Чиркова, Н.Б. Ходяшев,
Е.А. Тиньгаева

STUDY OF FOSSIL COALS BY INFRARED
SPECTROSCOPY

Keywords: fossil coals, activated carbons, infrared
spectroscopy, the degree of metamorphism, the degree of
aromaticity

The results of the study of fossil coals by infrared spectroscopy. The possibility of using this method to determine the degree of aromaticity of a significant group of resources in order to predict their suitability for active carbons

А.И. Акимов

THE PROBLEM OF COOLING A CONTINUOUS
MULTI-LAYER CYLINDER OF COMPOSITE
MATERIALS IN AUTOMATED TECHNOLOGICAL
PROCESS

Keywords: production of composite materials, control
systems, polymerization, termonbarry

The paper presents the results of a study of the cooling of composite materials under the influence of the ambient temperature after completion of the polymerization in the automated technological process (AWTP). The information required for the development of automatic

завершения полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП). Полученные сведения необходимы для разработки системы автоматического управления производством композиционных материалов, для исключения остаточных термонапряжений в изделиях.

А.В. Алексанин

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПО УПРАВЛЕНИЮ ПОТОКАМИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Ключевые слова: логистический центр, строительство, переработка отходов, управление, логистика

Создание логистических центров является многогранным процессом, требующим профессионального и ответственного отношения. В данной статье рассматриваются основные этапы создания логистических центров по управлению потоками отходов строительного производства комплексного и информационного типов, а также их ключевые особенности.

А.С. Андреев, Е.А. Кудашова, С.Ю. Раков СИНТЕЗ НЕПРЕРЫВНОГО И КУСОЧНО-ПОСТОЯННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Ключевые слова: мобильный колесный робот, роликонесущее колесо, кусочно-постоянное управление, стабилизация, слежение

В работе предложены непрерывный и кусочно-постоянный законы управления для задач стабилизации программного движения и отслеживания заданной траектории мобильного колесного робота с тремя оми-колесами. Рассмотрена динамическая модель робота с учетом неизвестных массо-инерционных параметров. Представлены результаты численного моделирования.

Р.Г. Асадуллаев, В.В. Ломакин ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЕМ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ

Ключевые слова: личностно-ориентированное обучение; адаптивное программное обеспечение; индивидуальная траектория обучения; адаптивный алгоритм формирования учебного курса

В представленной статье авторы освещают проблему построения процесса адаптивного управления обучением персонала предприятий. Выявлены особенности обучения сотрудников промышленных предприятий, заключающиеся в специфике профессиональной деятельности, а также в разнородном составе контингента обучаемых. Построены функциональные схемы процессов управления профессиональным обучением и формирования образовательной программы профессионального обучения. Обоснован состав элементов, входящих в устройство управления профессиональным обучением, которые рациональным

control system for the production of composite materials, to eliminate residual stresses in the product.

A.V. Aleksanin

FEATURES OF IMPLEMENTATION OF THE PROJECT OF THE LOGISTIC CENTER FOR MANAGEMENT OF STREAMS OF BUILDING WASTES

Keywords: logistic center, construction, processing of waste, management, logistics

Creation of the logistic centers is the many-sided process demanding the professional and responsible relation. In this article the main stages of creation of the logistic centers for management of streams of waste of construction production of complex and information types, and also their key features are considered

A.S. Andreev, E.A. Kudashova, S.Yu. Rakov SYNTHESIS OF CONTINUOUS AND PIECEWISE CONSTANT MOTION CONTROLS OF WHEELED MOBILE ROBOTS

Keywords: wheeled mobile robot, omni-wheel, piecewise constant control, stabilization, trajectory tracking

In this paper we propose a continuous and piecewise constant control laws for the problems of stabilization of program motion and trajectory tracking of mobile wheeled robot with three omni-wheels. There is considered the dynamical model of the robot with unknown parameters of mass. There are presented the results of numerical modeling.

R.G. Asadullaev, V.V. Lomakin CREATION OF THE FUNCTION CHART OF PROCESS OF MANAGEMENT OF PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF THE PERSONNEL OF THE ENTERPRISE FOR THE ADAPTIVE LEARNING MANAGEMENT SYSTEM

Keywords: personal-focused training; adaptive software; personal training trajectory; adaptive algorithm for the training course forming

In the present article, the authors highlight the problem of constructing of adaptive learning process control for enterprises personnel. The features of industrial enterprises employees training identified, consisting in specific professional activity, as well as in a diverse contingent of students. The process control of the professional training and the formation of the educational program of professional training functional schemes were built. The composition of elements which are the part of professional training control device was substantiated. This elements perform the individual educational trajectory rational control by the formation of individual learning content.

образом управляют индивидуальной образовательной траекторией посредством формирования индивидуального учебного контента.

В.И. Баженов, Е.А. Королева
ВАРИАНТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО
УДАЛЕНИЮ ЗАПАХА СТОЧНЫХ ВОД

Ключевые слова: контроль запаха, очистные сооружения канализации, поглощение запахов активным илом

В практическом аспекте рассмотрен синергизм этапов предотвращения выбросов в атмосферу опасных и дурнопахнущих летучих соединений, которые образуются в системах канализации и при очистке сточных вод: сбор загрязненного воздуха и способов его очистки. Предлагается к внедрению система подачи очищаемого воздуха в аэротенки на базе устройств пневматической мелкопузырчатой аэрации, позволяющая достигать эффективности удаления запахов: H_2S = 92-99%, NH_3 > 90%, D/T > 99,5%.

В.Ф. Бай, Т.В. Мальцева, А.Н. Краев
МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЛАБОГО ГЛИНИСТОГО
ОСНОВАНИЯ, УСИЛЕННОГО ПЕСЧАНОЙ
АРМИРОВАННОЙ ПО КОНТУРУ ПОДУШКОЙ С
КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОДОШВОЙ

Ключевые слова: фундамент, слабый глинистый грунт, песчаная подушка, армирующий материал

В статье представлена методика расчёта песчаной армированной по контуру подушки с криволинейной подошвой, устроенной в слабых глинистых грунтах под ленточными фундаментами.

О.В. Балина, В.В. Нассонов, Л.Н. Нассонова
ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ:
МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И АНАЛИЗА
СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Ключевые слова: диагностика, анализ состояния, усталостные повреждения, коэрцитивная сила.

В работе рассмотрены методы повышения достоверности диагностики и анализа состояния металлоконструкций, основанные на системном эффекте совместного использования дефектоскопии и магнитного структурного анализа.

В.Ф. Беккер, Ю.А. Садырева, И.Ф. Киссельман
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ПЫЛЕВЫХ
ВЫБРОСОВ В АППАРАТЕ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ
ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Ключевые слова: аппарат с подвижной насадкой, вращение насадки эффективность, улавливание пыли, хлорид калия

Проведено экспериментальное исследование пылеулавливания в аппарате с вращающейся подвижной насадкой. Выполнен анализ механизма пылеулавливания. Показана эффективность процесса для очистки пылевых выбросов производства хлорида калия.

С.В. Бирюков
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА
ВОЗДУШНОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ

V.I. Bazhenov, E.A. Koroleva
VARIANTS OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR
ODOR REMOVAL FROM WASTEWATER

Keywords: odor control, wastewater treatment plant, odor absorption by activated sludge

In the practical aspect is discussed the synergies stages to prevent emissions of hazardous and odorous volatile compounds, which are formed in sewer systems and wastewater treatment: collect contaminated air and cleansing it. It is proposed to introduce the odor absorption by activated sludge for aeration tanks on the basis of pneumatic fine-bubble aeration in order to achieve effective removal of odors: H_2S = 92-99%, NH_3 > 90%, D/T > 99,5%.

V.F. Bai, T.V. Maltseva, A.N. Krayev
CALCULATION METHOD OF THE WEAK CLAY
FOUNDATION REINFORCED WITH FIBER
REINFORCED SAND CUSHION WITH A CURVED
SOLE

Key words: foundation, weak clayey ground, sand cushion, reinforcing material

The paper presents the calculation method of the contour reinforcement sand cushion with a curved sole being erected on weak clayey grounds below mat foundations.

O.V. Balina, V.V. Nassonov, L.N. Nassonova
EXAMINATION OF THE TECHNICAL DEVICES:
METHODS OF DIAGNOSIS AND ANALYSIS OF
THE PIPELINES

Keywords: diagnostics, analysis of the state, fatigue damage, coercive force

Methods of the increasing of the reliability of diagnosis and analysis of steel-work, based on the systemic effect of the joint use of defectoscopy and magnetic structure analysis are considered in this paper.

V.F. Becker, Yu.A. Sadyreva, I.F. Kisselman,
CLEANING EFFICIENCY OF DUST EMISSIONS IN
THE APPARATUS FOR ROTATING THE MOVABLE
NOZZLE

Keywords: apparatus with a movable nozzle, the rotation of the nozzle efficiency, dust, potassium chloride

An experimental study of the dust-collecting apparatus with a rotating movable nozzle. Analysis of the mechanism of dust. The efficiency of the process for cleaning dust emissions from the production of potassium chloride.

S.V. Biryukov
IMPROVEMENT PROGRAM FOR THE
CALCULATION OF AIR DISTRIBUTION IN
BUILDINGS

Ключевые слова: программа, расчёт, воздушный режим, алгоритмы

В статье описаны направления по совершенствованию алгоритмов расчёта воздушного режима здания для новых областей применения. Дано краткое описание принципов работы разработанной компьютерной программы.

А.В. Бродский

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЯ КОРРЕКТНОСТИ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Ключевые слова: процесс проектирования, САПР, задача оптимизации, вербальное описание,

математическая модель, структурные свойства

Статья посвящена актуальным вопросам разработки программных компонент САПР аэрокосмической техники. Рассматривается подход, который на основе анализа структурных свойств математической модели проектируемого изделия позволяет обеспечить переход от вербального описания исходной задачи оптимизации к ее формальной постановке. Сформулированы формальные условия проверки, когда такой переход возможен. Выделены возможные причины некорректности и определены способы их исправления

Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА АМПЛИТУДНЫХ И ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТОКА И КОНСТРУКЦИИ

Ключевые слова: физический эксперимент, модельная установка, сдвиг фаз, амплитудные характеристики
В работе представлены результаты физического эксперимента на модельной установке. В ходе физического эксперимента определены амплитуды вынужденных колебаний и углы сдвига фаз при взаимодействии газодинамических процессов и конструкций из различных материалов. Произведена оценка влияния колебаний газового потока на перемещения оболочки в радиальном направлении.

**Л.В. Быков, П.В. Никитин, О.А. Пашков
МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕРАВНОМЕРНОГО СНОСЯЩЕГО ПОТОКА С КОНСТРУКЦИЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Ключевые слова: дирижабль, атмосферный порыв; численное моделирование; динамическая сетка; аэродинамические характеристики; вихревая структура

В работе представлена методика численного моделирования взаимодействия дирижабля, совершающего равномерное прямолинейное движение, с атмосферным порывом. Проведен предварительный анализ влияния исходных параметров на результаты моделирования. Сформулирована постановка задачи и определены граничные условия.

Keywords: software, calculate, air distribution in building, algorithms

This article describes the latest concepts for improvement of algorithms in calculating air distribution in buildings for new applications. A brief description of the principles to develop computer programs.

A.V. Brodskiy

FORMALIZATION OF OPTIMIZATION PROBLEM VALIDATION IN CAD SYSTEMS FOR AEROSPACE ENGINEERING

Keywords: engineering process, CAD system, optimization problem, verbal description, mathematical model, structural properties

This article presents the current issues in the development of CAD system program components. The paper considers an approach assuring the transfer from the verbal description of source optimization problem towards its formal definition. The approach is based on structural properties' analysis of designed items' mathematical model. The formal conditions of check-up are formulated when such transfer is valid. Possible reasons of incorrectness are identified and the ways of correcting them are defined.

L.N. Butymova, V.Ya. Modorsky, A.F. Shmakov.

THE EXPERIMENTAL EVALUATION OF AMPLITUDE AND PHASE CHARACTERISTICS INTERACTION PROCESS GASDYNAMIC OF FLOW AND CONSTRUCTIONS

Keywords: physical experiment, experimental setup, shift of phases, amplitude characteristics

The paper presents the results of a physical experiment on a experimental setup. In the physical experiment were determined the amplitude of forced oscillations and the phase angles in the interaction of gas-dynamic processes and construction from various materials. Was evaluated of the impact of fluctuations of the gas flow on the movement of the shell in the radial direction.

**L.V. Bykov, P.V. Nikitin, O.A. Pashkov
SIMULATION METHODS OF INTERACTION OF UNEVEN DEMOLISHING FLOW AND AIRCRAFT CONSTRUCTION**

Key words: dirigible, atmospheric rush; numerical modeling; dynamic mesh; aerodynamic characteristics; vortex structure

The article presents methodology of numerical modeling of the interaction of the dirigible committing uniform linear motion with the atmospheric rush. The preliminary analysis of the impact of the initial parameters on the simulation results is conducted. Formulate the problem and define the boundary conditions. Problem statement is formulated and boundary conditions are defined.

Л.В. Быков, О.А. Пашков
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С НЕСУЩИМ
ФЮЗЕЛЯЖЕМ

Ключевые слова: самолет, несущий корпус, численное моделирование, уравнения Навье-Стокса, безотрывное обтекание, вихревая структура

В работе описана постановка задачи взаимодействия летательного аппарата с набегающим потоком воздуха на примере самолета с несущим фюзеляжем. В основу рассматриваемой модели положены исследования эллиптических крыльев малого удлинения. Условия обтекания описаны осреднённой по Рейнольдсу системой уравнений Навье-Стокса. Получены суммарные и распределённые аэродинамические характеристики изолированного корпуса.

А.М. Васильев, Г.В. Лунина, И.И. Прокуратов,
А.Н. Федотов
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Ключевые слова: электропривод, асинхронный электродвигатель, надежность

В статье рассмотрены вопросы определения надежности электропривода с асинхронным электродвигателем, определены факторы, влияющие на нее. Показано, что основным направлением для повышения надежности автоматизированного электропривода с асинхронным двигателем является исключение возможности возникновения сквозных токов силовых транзисторов инвертора и снижения напряжения, подаваемого на силовые транзисторы. Предложена структура электропривода с повышенной надежностью.

Н.П. Васина
ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ
ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ КАПСУЛИРОВАННЫХ
ФОРМ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

Ключевые слова: теплообмен, сушка, полимерная пленка, оболочка

В работе представлены результаты изучения кинетики сушки защитного покрытия капсулированных форм лекарственных препаратов на основе шеллака. Получены расчетные зависимости скорости удаления растворителя от влияющих факторов для возможного их использования в инженерных расчетах при проектировании сушилок. Проведен анализ кривых скорости сушки, сделаны выводы о механизме переноса растворителя.

Ю.Д. Волков, А.В. Дудин
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО
ЭНЕРГОЗАТРАТАМ В УСЛОВИЯХ
ВЕРОЯТНОСТНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Ключевые слова: задача эксперимента, вероятностная неопределенность, модель, пространство состояний, энергетическая цена, оптимизация

В статье рассмотрена задача оптимизации эксперимента в автономных энергосистемах. В основу положена модель эксперимента в виде

L.V. Bykov, O.A. Pashkov
STATEMENT OF THE PROBLEM WITH FLOW
AIRCRAFT WITH LIFTING FUSELAGE

Keywords: aircraft, lifting fuselage, numerical simulation, Navier-Stokes equations, unseparated flow, vortex structure

The article describes the formulation of the problem of the interaction of the aircraft with ram air on an example of the aircraft with a monocoque fuselage. The basis of the model is based on the research of elliptic wings of low aspect ratio. Flow conditions are described as averaging the Reynolds Navier-Stokes equations. Prepared and distributed the total aerodynamic characteristics of the insulated body.

A.M. Vasilyev, G.V. Lunina, I.I. Prokuratov,
A.N. Fedotov
INCREASE OF RELIABILITY OF THE ELECTRIC
DRIVE WITH THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC
MOTOR

Keywords: the electric drive, the asynchronous electric motor, reliability

In article questions of definition of reliability of the electric drive with the asynchronous electric motor are considered, the factors influencing it are defined. It is shown that the basic direction for increase of reliability of the automated electric drive with the asynchronous engine is the exception of possibility of occurrence of through currents of power transistors of the inverter and a voltage reduction submitted on power transistors. The structure of the electric drive with raised reliability is offered.

N.P. Vasina
STUDY OF KINETICS OF DRYING OF THE
PROTECTIVE COATING OF A CAPSULATED
FORM OF MEDICINAL PREPARATIONS
Keywords: heat and mass transfer, drying, polymer film, shell

The work presents the results of studies of the drying kinetics of the protective coating of a capsulated form of medicinal preparations on the basis of shellac. Calculated the dependence of the rate of removal of solvent from influencing factors for their possible use in calculations in the design of kilns. The analysis of curves of speed of drying is carried out, conclusions are drawn on the mechanism of transfer of solvent.

Yu.D. Volkov, A.V. Dudin
OPTIMIZATION OF THE EXPERIMENT ON
ENERGY CONSUMPTION IN THE PROBABILITY
OF UNCERTAINTY

Key words: task of the experiment, a probabilistic uncertainty model, the state space, the energy cost optimization

The article considers the problem of optimizing the experiment in autonomous power systems. The basis of the model of the experiment in the form of a probability space. An index of the energy cost of the experiment.

вероятностного пространства. Введен показатель энергетической цены эксперимента. Оптимизация на вероятностном графе пространства состояний дает реальный выигрыш в объеме перебора и снижает энергозатраты.

В.В. Воронцов, В.П. Овчинников, А.В. Куликов
РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ
МАКРООБРАЗЦА ВОДОНАСЫЩЕННОГО ТОРФА
С ИМИТАЦИЕЙ УДАЛЕНИЯ ОТ ДНЕВНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ

Ключевые слова: слабый органо-минеральный грунт, общее и избыточное поровое давление, макрообразец из торфа, компрессионное сжатие

В статье представлены результаты лабораторных исследований напряженно-деформированного состояния слабого водонасыщенного органо-минерального грунта, удаленного от дневной поверхности, в условиях компрессионного сжатия с двухсторонней фильтрацией поровой воды.

Д.Ф. Гайнутдинова, В.Я. Модорский, Г.Ф. Масич
«ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ
ГИДРОУПРУГОСТИ»

Ключевые слова: экспериментальная установка, супер ЭВМ, система хранения данных

В ряде случаев при работе высокотехнологичного оборудования возникают непрогнозируемые эффекты, приводящие к параметрическим и функциональным отказам. Проектирование таких изделий является чрезвычайно сложной задачей. При этом сочетание современных численных методов расчета и высокопроизводительных вычислений на Супер ЭВМ позволяет существенно сократить время и стоимость при проектировании.

И.Б. Гинзбург
КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО
НАСЫЩЕННЫХ ВЕБ-КЛИЕНТОВ

Ключевые слова: жизненный цикл изделий, клиентские приложения для систем поддержки жизненного цикла изделий, мобильные приложения, функционально насыщенные веб-приложения

Требования, предъявляемые к распределенным системам информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники, а именно: отказоустойчивость и использование многообразия устройств – клиентов, ограничивают использование традиционных специализированных и веб-клиентов. В обеспечение удовлетворения этим требованиям предлагается концепция построения названных систем с использованием универсальных веб-клиентов с возможностью резервирования вводимых пользователем данных и автономной работы.

Optimization on the probability of the state space graph gives a real advantage in the amount of search, and reduces energy consumption.

V.V. Voroncov, V.P. Ovchinnikov, A.V. Kulikov
LABORATORY STUDY RESULTS MACRO-
SAMPLE OF WATER SATURATED PEAT WITH
SIMULATED REMOTE FROM DAY SURFACE

Key words: weak water saturated soil, common excess of pore pressure, macro-sample of peat, compression pressure

This article presents the laboratory study results of stress-deformed state of weak water saturated mineral-organic soil, isolated from surface, in condition of compression pressure with bilateral filtering by pore water

D.F. Gaynutdinova, V.Ya. Modorsky, G.F. Masich
DESIGN OF THE TECHNOLOGICAL PLATFORM
FOR EXPERIMENTAL AND COMPUTING
RESEARCH OF THE FAST-PROCEEDING
HYDROELASTICITY PROCESSES

Keywords: experimental installation, supercomputer, system of data storage

In some cases during the work of the hi-tech equipment there are not predicted effects leading to parametrical and functional refusals. Design of such products is extremely difficult problem. Combination of modern numerical methods of calculation and high-performance calculations on Supercomputer allows to reduce time and cost at design.

I.B. Ginzburg
THE CONCEPT OF FAULT-TOLERANT OFFLINE-
CAPABLE RICH CLIENT WEB APPLICATIONS
FOR MAINTENANCE INFORMATION SUPPORT
SYSTEMS USE IN AEROSPACE ENGINEERING

Keywords: product lifecycle, client applications for product lifecycle information systems, mobile applications, rich web-applications

The use of traditional specialized and web clients is restricted by the requirements for distributed maintenance information support systems for aerospace engineering. The requirements are: the fault tolerance and diversity of customers' devices. To ensure that the requirements are met the concept of building these systems using universal offline-capable Web clients with the ability to backup the user's input is proposed.

И.С. Глумов

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО
АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Ключевые слова: подвижной состав, пассажирские перевозки, комфортность, безопасность, надежность, оптимизация.

Для повышения качества ресурсов используемых в пассажирских перевозках необходима методика, позволяющая не только оценить их уровень, но и позволяющая управлять процессом их подготовки. В этой статье представлена методика, основанная на процессном подходе международного стандарта ISO серии 9000.

К.Г. Горгоц

**ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНОЙ СИЛЫ НА ЗАЗОРЫ В
ЗАЦЕПЛЕНИЯХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС
ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ ТИПА 2К-Н БОРТОВЫХ
РЕДУКТОРОВ ТРАНСПОРТНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

Ключевые слова: бортовые редукторы, неравномерность нагружения, сателлиты, эпициклическая шестерня.

В работе представлены результаты теоретического исследования влияния деформаций деталей, возникающих под действием радиальной силы со стороны ходовой части на формирование зазоров в зацеплениях зубчатых колёс планетарных бортовых редукторов транспортно технологических машин).

М.А. Гордеев – Бургвиц

**СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ТЯГИ ДРАГЛАЙНА ПО
ОТКЛОНЕНИЯМ ПОДЪЕМНОГО И ТЯГОВОГО
КАНАТОВ ОТ ЗАДАННОЙ ТОЧКИ РАЗГРУЗКИ**

Ключевые слова: драглайн, системы управления приводами, автоматическое транспортирование, ковш

В работе рассмотрен способ автоматического управления электроприводом тяги мощных шагающих экскаваторов - драглайнов по отклонениям подъемного и тягового канатов от заданной точки разгрузки на основе найденного алгоритма управления и устройство для его реализации.

**Т.А. Деменкова, Е.Ф. Певцов, Л.В. Твердохлебов
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА
ИЗОБРАЖЕНИИ**

Ключевые слова: цифровое изображение, определение границ объекта, алгоритм активных контуров

В работе рассматривается задача определения границ объекта на цифровом изображении. Предложен алгоритм с использованием модели активных контуров с помощью маски преобразования расстояний. Алгоритмическая реализация модели позволяет проводить исследования в виде тестирования на разных наборах изображений.

О.В. Дмитриева

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ**

I.S. Glumov

**ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF RESOURCE
PROVIDING THE PASSENGER MOTOR
TRANSPORTATION ENTERPRISE**

Keywords: Rolling stock, passenger traffic, comfort, safety, reliability, optimization

The technique allowing not only to estimate their level, but also allowing to operate process of their preparation is necessary for improvement of quality of the resources used in passenger traffic. The technique based on process approach of the international ISO standard of a series 9000 is presented in this article.

K.G. Gorgots

**INFLUENCE RADIAL FORCE BACKLASH IN
GEARING PINIONS PLANETARY GEAR TYPE 2K-
H Final Drive TRANSPORTATION
MANUFACTURING MACHINES**

Keywords: final drives, uneven loading, satellites, the epicyclic gear

The paper presents the results of a theoretical study of the effect of deformation of parts produced under the influence of the radial force on the part of the chassis on the formation of gaps in mesh gears planetary final drives technological transport vehicles).

M.A. Gordeev - Burgwitz

**THE METHOD OF AUTOMATIC CONTROL OF
ELECTRIC TRACTION OF DRAGLINE FOR
DEVIATIONS LIFTING AND TRACTION ROPE
FROM THE POINT OF UNLOADING**

Keywords: dragline, control devices, auto transport-formation, bucket

In the article the method of automatic control of electric traction powerful walking dragline excavators for deviations lifting and traction rope from the point of discharge on the basis of found algorithm of management and device for its implementation.

**Т.А. Деменкова, Е.Ф. Певцов, Л.В. Твердохлебов
METHOD OF OBJECT CONTOURS DEFINITION ON
IMAGE**

Keywords: digital image, definition of object contours, algorithm of active contours

In work the task of definition of contours of object on the digital image is considered. The algorithm with use of model of active contours with the help of mask of transformation of distances is offered. The algorithmic realization of model allows to carry out researches as testing on different sets of the images. This is research made by "Design center of integrated circuits, nano-electronics devices and MEMS" of MSTU MIREA.

O.V. Dmitrieva

**METHODICAL FEATURES OF DESIGNING
INFORMATION TECHNOLOGIES APPLIED TO
SUPPORT DECISION-MAKING PROCESS AT**

РЕШЕНИЙ В ВУЗЕ

Ключевые слова: информационные технологии, поддержка принятия решений, вуз.

В работе представлены методические особенности применения информационных технологий для управления образовательным учреждением. Выделены составляющие элементы информационной системы вуза и приведена структура информационных технологий поддержки принятия управленческих решений в вузе.

А.Ю. Дуженко

ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ СУДОВ ТИПА РО-РО И ЛО-РО, ПЕРЕВОЗЯЩИМ ОПАСНЫЕ ГРУЗЫ КЛАССА 7. (НА ПРИМЕРЕ ГРУЗОВЫХ СУДОВ КОМПАНИИ «АТЛАНТИК РО-РО КЭРРИЕРС, ИНК »)

Ключевые слова: опасный груз класса 7, транспортировка, морские суда типа Ро-Ро и Ло-Ро, технические требования, грузовое помещение, контейнеровоз, ролкер, МК МПОГ

Развитие и широкое использование технологий на основе радиоактивных материалов сопровождается интенсивными перевозками радиационных грузов. Для минимизации возможных рисков необходимо неукоснительно соблюдать все предусмотренные в этом случае действующие правила. В статье изучен вопрос соответствия судов типа Ро-Ро и Ло-Ро требованиям, предъявляемым к судам перевозящим опасные грузы класса 7.

**Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ
ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ
ГЕОПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ
МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД И
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ БАЗЕ**

Ключевые слова: геополимерные вяжущие, бетон, строительный материал, ресурсосбережение, отходы добычи магматических горных пород

Анализируются результаты исследования геополимерных вяжущих на базе магматических горных пород. Сформулированы требования к сырью, технологии и условиям эксплуатации этих строительных материалов.

**В.А. Завьялов, В.А. Величкин
ОПТИМИЗАЦИЯ ПО КРИТЕРИЮ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ С УЧЕТОМ
ДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ**

Ключевые слова: оптимизация системы управления, критерий энергетической эффективности, случайные помехи

В работе представлены результаты систем с тепловыми процессами, которые характеризуются многомерной математической моделью, и с микропроцессорным управляющим устройством, реализующим пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования (ПИД). Исследования показали, что оптимизация системы по критерию энергетической эффективности и известной математической модели можно рассчитать параметры ПИД-регулятора, которые

HIGHER EDUCATION INSTITUTION

Keywords: information technologies, support of decision-making process, higher education institution. Methodical features of information technologies application in management of educational institution are presented in present paper. Elements of information system of higher education institution are allocated and the structure of information technologies support of decision-making process at higher education institution is given.

A.Y. Duzhenko

REQUIREMENTS FOR VESSELS OF RORO AND LORO, CARRYING DANGEROUS GOODS OF CLASS 7 (FOR EXAMPLE, CARGO SHIPS OF "ATLANTIC RO-RO CARRIERS, INC.")

Keywords: Class 7 dangerous goods, transportation, marine vessels Ro-Ro and Lo-Ro, technical requirements, cargo space, container, ro-ro, IMDG
The development and widespread use of technologies based on the radioactive material is accompanied by intense radiation transport of goods. To minimize possible risks must be complied with all provided in this case by special regulations. The article explored the compliance of ships RoRo and LoRo types requirements for ships carrying dangerous goods of Class 7.

**N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin
SCIENTIFIC AND PRACTICAL PRINCIPLES OF
PRODUCTION AND USING OF GEOPOLYMER
BINDERS BASED ON MAGMATIC ROCKS AND
BUILDING MATERIALS ON ITS BASICS**

Keywords: geopolymer binders, concrete, building materials, resource saving, waste production of magmatic rocks

The paper analyzes the results of a study geopolymer binders based on magmatic rocks. Requirements to raw materials, technology and exploitation conditions of these building materials were formulated.

**V.A. Zavyalov, V.A. Velichkin
OPTIMIZATION OF ENERGY EFFICIENCY
CRITERION IN VIEW OF INTERFERENCE**

Keywords: optimization of the control system, the criterion of effectiveness of energy efficiency, random noise

The paper presents the results of systems with thermal processes that characterized by a multi-dimensional mathematical model, and with a microprocessor based control device implementing a proportional-integral-derivative laws regulation (PID). Studies have shown that the optimization of the system by the criterion of energy efficiency and the well-known mathematical model can calculate the parameters of the PID controller, which allows to synthesize a control system (ACS), significantly reducing the influence of random noise on the management process.

позволяют синтезировать систему управления (САУ), существенно снижающую влияние случайных помех на процесс управления.

В.А. Завьялов, В.А. Величкин
РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

Ключевые слова: расчёт параметров регулятора, модель объекта управления, заданные свойства системы управления, аналитический синтез системы управления

В работе представлена методика расчёта параметров ПИД-регулятора по параметрам математической модели объекта управления. Представленная методика позволила свести задачу синтеза системы автоматического управления с заданными свойствами к задаче идентификации объекта управления, которая обязательно решается при аналитическом синтезе системы автоматического управления.

Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин,
А.Н. Макарова
СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ
РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В
НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ

Ключевые слова: структура системы, запасные части, нефтегазодобыча, транспортно-технологические машины

В статье рассматривается проблема снабжения запасными частями при использовании транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче. Рассмотрены структура изучаемой системы. Выявлены основные закономерности, формирующие расход запасных частей.

Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков
ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДНОГО ТОКА
АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ
БАТАРЕЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Ключевые слова: автомобиль, аккумуляторная батарея, холодный климат, сила тока, степень заряженности

В статье рассмотрено влияние температуры и условий эксплуатации на работу автомобильных аккумуляторных батарей, обозначены ключевые факторы, предложены меры по повышению надёжности работы аккумуляторных батарей.

Д.П. Ильященко
СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ
СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Ключевые слова: дуговая сварка, тип источника питания, стабильность горения, разбрызгивание, выпрямитель, инвертор

В работе приведены результаты экспериментальных исследований технологических особенностей (величина разбрызгивания, стабильность процесса сварки) ручной дуговой сварки покрытыми электродами от различных типов источников питания (инверторный источник, диодный выпрямитель). Установлено, инверторы обеспечивают высокое качество сварки (более

V.A. Zavyalov, V.A. Velichkin
CALCULATION PID – PARAMETERS

Keywords: calculation of the controller parameters, the model of the control object, set the properties of the control system, an analytical synthesis of control systems
The paper presents a methodology for calculating the parameters of PID in the parameters of the mathematical model of the control object. The presented method has allowed to reduce the problem of synthesis of automatic control system with desired properties to the problem of identification of the object of control, which is required to be solved by analytic synthesis of automatic control system.

N.S. Zakharovov, O.A. Novoselov, R.A. Ziganshin,
A.N. Makarova
A SYSTEM STRUSTURE AT MODELLING OF
SPARE PARTS EXPENDITURE FOR TRANSPORT-
TECHNOLOGICAL MACHINES IN OIL-AND-GAS
PRODUCTION

Keywords: system structure, spare parts, oil-and-gas production, transport-technological machines
In the article, the problem of spare parts supply when using transport-technological machines in oil-and-gas production is considered. A structure of the studied system is viewed. Basic regularities that form spare parts expenditure are revealed.

N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov
CHARGING CURRENT CHANGES OF
AUTOMOTIVE LEAD - ACID BATTERIES IN
WINTER

Keywords: car, automotive lead – acid battery, cold climate, current, charge level

The influence of temperature and operating conditions on the operation of automotive batteries is considered in the article, identified key factors, proposed measures to enhance the reliability of the batteries.

D.P. Ilyashenko
INFLUENCE OF ENERGY CHARACTERISTICS
POWER SUPPLY FOR STABILITY MMA

Keywords: arc welding power supply type, combustion stability, spatter, rectifier, inverter

The paper presents the results of experimental studies of technological features (magnitude spray welding process stability) manual arc welding with coated electrodes of different types of power sources (inverter power source , diode rectifier) . Established inverters provide high quality welding (more stable process , the smaller value of spray), and this leads to lower product manufacturing costs by reducing the stripping operation seam welding material savings.

стабильный процесс, меньшая величина разбрызгивания), а это приводит к снижению себестоимости изготовления изделия за счет уменьшения операций по зачистке швов, экономии сварочного материала

В.В. Ионов, В.В. Курчавов
СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ
СЛОЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ НА
ВРЕМЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ И
ПРЕДМЕТОВ ПРИ ИХ ВИЗУАЛЬНОМ
ВОСПРИЯТИИ НА ЭКРАНЕ ИНТРОСКОПА

Ключевые слова: рентгенотелевизионный интроскоп, информационное поле, усложняющие факторы.

В работе представлены результаты статистической обработки данных эксперимента по выявлению с использованием рентгенотелевизионного интроскопа опасных веществ и предметов в условиях действия усложняющих факторов. Данные результаты позволяют разработать алгоритм многопараметрической оценки профессиональной деятельности операторов рентгенотелевизионных интроскопов.

А.С. Исаев, Г.П. Жигулин
ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП
ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТЬЮ СОГЛАСНО ПОЛОЖЕНИЯМ
МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ
ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: информационная безопасность, управление информационной безопасностью, экспертная система

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению и систематизации основных составляющих процессов управления информационной безопасностью по функциональным группам, в соответствии с положениями разработанного метода управления информационной безопасностью на основе теории построения экспертных систем.

С.Л. Калюлин, А.Ф. Шмаков, В.Я. Модорский
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ
КРУПНОГАБАРИТНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ИЗ
СТЕКЛОПЛАСТИКА В ПРИКЛАДНОМ ПАКЕТЕ
IOSO PM

Ключевые слова: оптимизация, методика расчета, крупногабаритный вентилятор из стеклопластика.
В работе представлены результаты оптимизации конструкции крупногабаритного вентилятора, методика работы в прикладном пакете оптимизации IOSO PM с интеграцией Ansys WorkBench, трех-шаговый алгоритм работы в IOSO PM. Построена физическая и математическая модели конструкции. Найдена оптимальная длина внутренней трубы лонжерона при допустимой оптимальной толщине трубы. Параметры оптимизации – геометрические характеристики лонжерона из стеклопластика внутри лопасти вентилятора.

V.V. Ionov, V.V. Kurchavov
STATISTICAL MODEL OF ASSESSMENT OF
INFORMATION FIELD COMPLEXITY IMPACT ON
DANGEROUS ARTICLES AND MATERIALS
ACQUISITION TIME WHEN VISUAL RECEPTION
ON X-RAY TELEVISION INTROSCOPE SCREEN
Keywords: X-ray television introscope, information field, adversity

Data statistical processing results of experiment for dangerous articles and materials acquisition using X-ray television introscope in condition of adversity are presented. These results provide to develop the algorithm of complex assessment of professional activities of X-ray television introscope operators.

A.S. Isaev, G.P. Zhigulin
FORMATION OF FUNCTIONAL GROUPS
PROCESSES OF SECURITY MANAGEMENT
UNDER THE PROVISIONS OF AN INFORMATION
SECURITY MANAGEMENT METHOD BASED ON
THE THEORY OF BUILDING EXPERT SYSTEMS
Keywords: information security, information security management, expert system

This paper presents the results of research on identifying and systematizing the basic components of an information security management processes for each functional group, in accordance with the provisions of this method of information security management based on the theory of building expert systems.

S.L. Kalulin, A.F. Shmakov, V.Ya. Modorsky
OPTIMIZATION DESIGN OF LARGE-SIZED FAN
FROM FIBERGLASS IN PROGRAM THE IOSO PM
Keywords: optimization, method of calculation, large-size fan of fiberglass.

In this paper, presents the results optimization of the design of large-sized fan, method of work in the application package to optimize the integration of IOSO PM Ansys Workbench, the three steps of the algorithm works in IOSO PM. The optimal length of the inner tube of the spar at the optimum thickness of allowable pipe. Optimization parameters – geometrical characteristics of a longeron from fibreglass in the fan blade.

И.В. Карнаухова

**ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ВОЗДУХА НА РАСХОД
ТОПЛИВА**

Ключевые слова: расход топлива; эксплуатация двигателей; вязкость воздуха; температура воздуха. Не смотря на то, что современные автомобили отличаются своей экономичностью, проблема экономии топлива является насущной как для отечественного автомобилестроения, так и для импортного производства. Сегодня особое внимание уделяется проблемам снижения потребления топлива и существенному сокращению выброса углеводородов при сохранении высокой удельной мощности двигателей. Использование современных методов позволяет расчетным путем оценивать экономические и экологические показатели ДВС. В статье представлены экспериментальные исследования влияния изменения вязкости воздуха на расход топлива, работу и пуск двигателя.

I.V. Karnaukhova

**INFLUENCE OF AIR VISCOSITY TO FUEL
CONSUMPTION**

Keywords: fuel consumption; operation of engines; the viscosity of the air; the air temperature. Despite the fact that modern cars are distinguished by their efficiency, fuel economy is a pressing problem for the domestic automobile industry and foreign production. Today special attention is paid to the problems of reducing fuel consumption and a substantial reduction in the emission of hydrocarbons while maintaining the high power density of the engine. The use of modern techniques allows a calculation by estimating the economic and environmental performance of internal combustion engine. The paper presents experimental investigations of the influence of air viscosity changes on the fuel consumption, and engine start.

Ю.П. Кири́н, В.В. Кирьянов

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ
ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА**

Ключевые слова: вакуумная сепарация, губчатый титан, максимально допустимая температура, комбинированное и импульсное управление. В статье изложены принципы построения оптимальных систем управления, обеспечивающих интенсификацию вакуумной сепарации губчатого титана за счёт поддержания максимально допустимой температуры процесса. Приведено описание структурных схем и алгоритмов комбинированного и импульсного управления температурой.

Y.P. Kirin, V.V. Kiryanov

**OPTIMAL CONTROLLING THE TEMPERATURE
OF VACUUM SEPARATION OF TITANIUM
SPONGE**

Keywords: vacuum separation, titanium sponge, most admissible temperature, combined and impulse management. In article the principles of creation of the optimal control system providing an intensification of vacuum separation of titanium sponge due to maintaining of the most admissible temperature of process are explained. The description of block diagrams and algorithms of the combined and pulse management of temperature is provided.

Ю.П. Кири́н, В.В. Кирьянов

**ВАКУУМНАЯ СЕПАРАЦИЯ ГУБЧАТОГО ТИТАНА
С РЕГУЛИРУЕМЫМ МАНОМЕТРИЧЕСКИМ
РЕЖИМОМ**

Ключевые слова: вакуумная сепарация, губчатый титан, остаточное давление, программное управление. В статье изложены принципы построения системы управления вакуумной сепарацией, обеспечивающей повышение скорости прогрева реакционной массы за счёт управления остаточным давлением в аппарате сепарации. Приведено описание структурной схемы и алгоритмов управления остаточным давлением.

Y.P. Kirin, V.V. Kiryanov

**VACUUM SEPARATION OF TITANIUM SPONGE
WITH THE ADJUSTABLE MANOMETRIC MODE**
Keywords: vacuum separation, titanium sponge, residual pressure, program control.

In article the principles of creation of a control system of the vacuum separation providing increase of speed of warming up of titanium sponge due to management of residual pressure in the separation device are explained. The description of the structure and algorithms of management of residual pressure is provided.

**Ю.П. Кири́н, В.В. Кирьянов, В.А.Тихонов
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ВАКУУМНАЯ
СЕПАРАЦИЯ ГУБЧАТОГО ТИТАНА**

Ключевые слова: вакуумная сепарация, губчатый титан, скорость нагрева и охлаждения, тепломассоперенос, энергосберегающая технология. В статье изложены результаты разработки энергосберегающей технологии вакуумной сепарации, основанные на снижении рабочей температуры процесса. Рассмотрены способы управления температурным режимом вакуумной сепарации, реализующие данную технологию.

**Y.P. Kirin, V.V. Kiryanov, V.A. Tihonov
LOW TEMPERATURE VACUUM SEPARATION OF
TITANIUM SPONGE**

Keywords: vacuum separation, titanium sponge, rate of heat and cooling, heat-mass transfer, energy saving technology. This article explaining the results of development of energy saving technology of vacuum separation based on decrease in operating temperature of process. The ways of management of a temperature schedule of vacuum separation realizing this technology are considered.

Т.В. Колесникова

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЫБОЗАЩИТНЫХ
КОМПЛЕКСОВ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Ключевые слова: водозаборные сооружения, ледовые образования, рыбозащитный комплекс, мусор, воздушно-пузырьковые струи.

В статье рассматриваются актуальные проблемы природоохраны внутренних водоемов. Рост темпов водопотребления вызывает необходимость оснащать водозаборы более эффективными средствами рыбозащиты. Описываются конструктивные схемы рыбозащитных комплексов, позволяющие обеспечить на водозаборах не только рыбоохранные мероприятия, но и защитить от попадания в их окна: мусора, ледовых образований, наносов и других механических включений.

А.Б. Корняков, А.К. Клочко

**УМЕНЬШЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ В КОТЕЛЬНЫХ
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ
ГАЗОВОЗДУХОПРОВОДОВ**

Ключевые слова: котельные установки, аэродинамический расчет газового и воздушного тракта, газовоздухопроводы.

В работе произведен анализ расчетных аэродинамических сопротивлений котельной установки. Предложен ряд мероприятий по реконструкции газовоздушного тракта котельных.

**Т.А. Кузнецова, В.Г. Августинovich, А.П. Якушев
СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В
СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ С БОРТОВЫМИ
МАТЕМАТИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ**

Ключевые слова: бортовая математическая модель ГТД, статистические характеристики информационных процессов, эргодичность, Фильтр Калмана.

На основе данных наземных испытаний проведен статистический анализ характеристик информационных процессов в САУ авиационного двигателя, доказана их эргодичность и нормальность распределения шумов в каналах измерения. Полученные результаты подтверждают эффективность использования алгоритмов Калман-фильтрации при разработке робастных бортовых математических моделей ГТД.

Д.Н. Куклев, Н.В. Куклева

**О ПРОДВИЖЕНИИ ТРАНЗИТНЫХ ПОЕЗДОВ
ЧЕРЕЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ УЗЛЫ С ТОЧКИ
ЗРЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА**

Ключевые слова: железнодорожный узел, транзитные поезда, системный подход, обходы узлов.

В обеспечении возможности роста экономики страны железнодорожный транспорт традиционно играет важнейшую роль. Идя по пути постоянного и непрекращающегося наращивания всех видов пропускной (провозной, перерабатывающей) способности, возникает потребность в поиске новых решений, для чего может быть стоит посмотреть на традиционные вопросы под другим углом зрения. В данной статье поднимается вопрос о возможности

T.V. Kolesnikova

**DESIGN OF FISH-PROTECTING COMPLEXES OF
WATER INTAKING CONSTRUCTIONS**

Keywords: water intaking constructions, ice educations, fish-protecting complex, garbage, air and bubble streams

In article actual problems of nature protection of internal reservoirs are considered. Growth of rates of water consumption causes the necessity to equip water intakes with more effective remedies of fish protection. Constructive diagrams of the fish-protecting complexes, allowing to provide on water intakes not only fishery conservation actions are described, but also to protect them from hit in their windows: garbage, ice educations, deposits and other mechanical switching on.

A.B. Kornjakov, A.K. Klochko

**ENERGY CONSUMPTION REDUCTION IN BOILER
ROOMS AT RECONSTRUCTION OF GAS-AIR
DUCTS**

Keywords: boiler installations, aerodynamic calculation of a gas and air path, gas-air ducts.

In work the analysis of aerodynamic resistance settlement boiler installation is made. A number of actions for reconstruction of a boiler rooms air-gas path is offered.

**T.A. Kuznetsova, V.G. Avgustinovich, A.P. Yakushev
THE STATISTICAL ANALYSIS OF PROCESSES IN
AIRCRAFT ENGINE CONTROL SYSTEMS WITH
ON-BOARD MATHEMATICAL MODELS**

Keywords: gas turbine engine on-board mathematical model, the statistical characteristics of information processes, the ergodicity, Kalman filter.

The statistical analysis of the characteristics of information processes in aircraft engine's control system based on ground tests data was developed; their ergodicity and the normality of noise distribution in the measurement channels were provided. The obtained results confirm the effectiveness of the Kalman-filtering algorithm's usage in robust gas turbine engine on-board mathematical model design.

D.N. Kuklev, N.V. Kukleva

**ABOUT MOVEMENT OF TRANSIT TRAINS
THROUGH RAILWAY JUNCTIONS FROM THE
POINT OF VIEW OF THE SYSTEMATIC
APPROACH**

Key words: railway junction, transit train, a systematic approach, bypass of railway junctions.

To provide opportunities for economic growth of the country rail transport plays a important role traditionally. Moving on the path of constant and never ending expansion of all types of bandwidth capacity (carrying capacity, processing ability) there is a need to search for new solutions, which may be worth a look at traditional issues from a different angle of view. This article raises the question about the possibility of

рассмотрения важнейшего процесса пропуска транзитных поездов через железнодорожные узлы с точки зрения системного подхода логистики.

С.А. Куюков, Д.А. Гензе, А.В. Замятин
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДАРОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Ключевые слова: георадар, инженерно-геологические изыскания, радарограмма, болото

В работе анализируются существующие нормы по инженерно-геологическим изысканиям на заболоченных территориях. Отражается малая надежность получаемых результатов. Предлагается расширить применение георадаров для увеличения надежности изысканий, сокращения сроков производства и снижения стоимости работ.

М.Р. Лапшин, С.Т. Лескин, А.О. Скоморохов
СТРУКТУРИРОВАННОЕ ХРАНЕНИЕ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММ СВЯЗИ

Ключевые слова: структура данных оперативного контроля, диаграмма связей, подготовка, анализ данных

Сложно структурированные эксплуатационные данные можно представить с помощью диаграмм связи (ДС). ДС позволяют визуализировать структуру, что упрощает процесс подготовки, обработки и анализа данных. В статье демонстрируется применение ДС на примере подготовки данных оперативно технологического контроля для последующего анализа состояния ГЦН АЭС с реакторной установкой ВВЭР-1000 КнАЭС.

В.И. Линьков
К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ДЛИННОМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ключевые слова: конструкционная древесина, чистая древесина, сорт древесины, сортообразующие признаки, коэффициент вариации, модуль упругости, временное и нормативное сопротивление чистой и сортовой древесины.

Представлены результаты определения временных и нормативных сопротивлений, модуля упругости древесины лиственницы на примере брусев сечением 120х200 мм длиной 24 м. Проведена оценка изменения физико-механических характеристик древесины лиственницы на разных участках по длине пиломатериала, длина которого в 3-4 раза превышает стандартную длину деревянных брусев. Даны предложения по методике определения сорта длинномерных пиломатериалов.

А.А. Малышева
НЕТРАДИЦИОННЫЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ - БИОГАЗ ПОЛИГОНОВ ТБО

Ключевые слова: утилизация, свалочный газ, биогаз, полигоны ТБО.

consideration of the most important process passes transit trains through railway junctions from the point of view of the system approach of logistics.

S.A. Kuyukov, D.A. Genze, A.V. Zamyatin
APPLICATION OF THE GEORADAR AT ENGINEERING-GEOLOGICAL RESEARCHES IN SWAMPY TERRITORIES OF WESTERN SIBERIA
Keywords: georadar, engineering-geological researches, radarogramma, swamp

In work the existing norms on engineering-geological researches in swampy territories are analyzed. Small reliability of the received results is reflected. It is offered to expand application of a georadar for increase in reliability of researches, reductions of terms of production and depreciation of works.

M.R. Lapshin, S.T. Leskin, A.O. Skomorohov
THE STRUCTURED STORAGE AND PRESENTATION OF OPERATION DATA FOR THE ANALYSIS OF THE CONDITION OF THE EQUIPMENT OF THE NUCLEAR POWER PLANT BY MIND MAPS

Keywords: data structure of the operational control, mind map, analysis of data

Complex structured data of the operational technological control can be represented by the mind maps. The mind maps allow the visualization of the structure, which simplifies the process of preparation, manipulation and analysis of data. This article demonstrates how to use the mind maps by the example of preparation of data of the operational technological control for the subsequent analysis of the condition of the main circulation pumps of VVER-1000 KlnNPP.

V.I. Linkov
EVALUATING STRENGTH OF LONG-LENGTH WOOD BEAMS

Keywords: structural wood, wood classes, class signs, elasticity module, temporary and normative resistance, coefficient of variation.

Temporary and normative resistance, elasticity module are presented basing on 24 m length beams. Modification of physical and mechanical features are evaluated on different points of beam's length, witch length is 3-4 time more than standart length of wood beams. Testimonials how to choose class of big-length wood beams are given.

A.A. Malysheva
RENEWABLE ENERGY SOURCES - BIOGAS MSW LANDFILL

Keywords: recycling, landfill gas, biogas, landfill sites. The article discusses the use of biogas in landfills, collection schemes and removal of gas, the use of

В статье рассмотрены вопросы использования биогаза на полигонах ТБО, схемы сбора и отвода газа, использование вертикальных скважин для добычи биогаза, а также этапы инженерного обустройства скважин и способы утилизации биогаза.

С.В. Марков, Л.И. Шубин, К.С. Андрейцева
КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ БАЛКОНОВ И ИХ
ЭВОЛЮЦИЯ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ
СОВРЕМЕННОЙ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

Ключевые слова: балконные плиты, монолитные перекрытия, теплопотери, нормативная база.

В статье рассмотрены конструктивные решения балконов с учетом современных теплотехнических требований предъявляемых к ограждающим конструкциям зданий. Устройство перфорационных отверстий в перекрытии, заполненных теплоизоляционным материалом, позволяют уменьшить теплопотери в узле опирания стены на монолитное перекрытие.

А.О. Махорин, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ
ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕДУРЫ СМЕНЫ РОЛИ УЗЛОВ
МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ
САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ
ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ В
АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Ключевые слова: многошлюзовая беспроводная самоорганизующаяся сеть, смена роли узла, самоорганизация, математическая модель, оптимизация

В статье сформулирована проблема выбора значений параметров процедуры смены роли узлов многошлюзовых беспроводных самоорганизующихся сетей произвольной топологии, применяемых в аэрокосмических системах. С целью проведения дальнейших исследований построена математическая модель названного класса беспроводных сетей. Поставлена задача оптимизации параметров названной процедуры смены роли.

Е.В. Мехоношина, В.Я. Модорский
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЧИСЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОУПРУГОЙ РАБОТЫ
КОМПРЕССОРА

Ключевые слова: компрессор, газодинамическая сила, напряженно-деформированное состояние, связанная задача аэроупругости, методика численного моделирования.

Данная работа посвящена разработке методики численного моделирования работы компрессоров ANSYS 15. Проведены расчеты напряженно-деформированного состояния конструкции с учетом действия газодинамической нагрузки. Показано, что аналитический расчет дает верхнюю оценку перемещений лопастей рабочего колеса, что позволит в дальнейшем при проектировании более обоснованно назначать запасы прочности.

Ж.Г. Могилюк, М.С. Хлыстунов
ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ
ДИНАМИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЗДАНИЙ И

vertical wells for production of biogas, as well as steps artificialisation wells and methods of utilization of biogas.

S.V. Markov, L.I. Shubin, K.S. Andreytseva
CONSTRUCTIVE SOLUTIONS BALCONIES AND
THEIR EVOLUTION WITH THE DEVELOPMENT
OF A MODERN REGULATORY FRAMEWORK

Key words: balcony slabs, monolithic slab, heat loss, the regulatory framework.

The article describes the design decisions balconies with current thermal requirements to the building envelope. Device perforations in the ceiling filled with insulating material, can reduce the heat loss in the node bearing walls on monolithic ceiling.

A.O. Mahorin, S.N. Padalko, M.N. Terentev
PROBLEM FORMULATION TO OPTIMIZE
PARAMETERS OF A PROCEDURE TO CHANGE
NODE ROLES IN A MULTI-GATEWAY WIRELESS
AD HOC NETWORK USED IN AEROSPACE
SYSTEMS

Keywords: multi-gateway wireless ad hoc network, node role change, self-organization, mathematical model, optimization

This article introduces a problem to choose parameters of a procedure for changing node roles in a multi-gateway wireless ad hoc network used in aerospace systems. To provide the further research a mathematical model of the considered class of wireless networks is proposed and a problem to optimize the changing-node-role-procedure parameters is mathematically formulated.

E.V. Mekhonoshina, V.Ya. Modorsky
DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR
NUMERICAL SIMULATION OF AEROELASTIC
OPERATION OF THE COMPRESSOR

Keywords: compressor, gas-dynamic force, stress-strain state, fluid-structure interaction, method of numerical simulation

This work is devoted to development of methods of numerical simulation of the compressor in ANSYS 15. Calculations of the stress-strain state of the structure taking into account action of gasdynamic loading are carried out. It is shown that analytical calculation gives the top assessment of movements of blades of the impeller that will allow further at design more reasonably to appoint margins of safety.

Zh.G. Mogiljuk, M.S. Hlystunov
STUDY THE DYNAMIC SURVEYS RELIABILITY
OF BUILDINGS AND STRUCTURES

СООРУЖЕНИЙ

Ключевые слова: динамические нагрузки, векторные параметры, цифровой мониторинг, погрешность.

В статье рассмотрены метрологические проблемы измерения параметров векторных динамических нагрузок при использовании систем с тремя однокомпонентными датчиками вибраций. Анализируются источники динамической погрешности и ложной прецессии полученного вектора при использовании аналоговых и цифровых измерительных систем. Сформулирован комплекс задач по устранению амплитудных и фазовых искажений при измерении векторных параметров нестационарных динамических нагрузок.

Р.А. Нурмухаметов, Ю.А. Чурсин

РЕАЛИЗАЦИЯ СТЕКА ПРОТОКОЛОВ TCP/IP НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С ЯДРОМ ARM7

Ключевые слова: стек протоколов, TCP/IP, клиент, сервер, пакет, Ethernet, данные, интерфейс, микроконтроллер

В настоящей статье будет представлена общие сведения о стеке протоколов TCP/IP, а так же результаты реализации такого стека протоколов на лабораторном стенде SDK 2.0 производства компании «ООО ЛМТ».

В.В. Опольский, Ю.А. Чурсин

БЮДЖЕТНАЯ БЕСПРОВОДНАЯ АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА

Ключевые слова: радиочастотные модули, система мониторинга, датчики.

В работе представлен способ реализации беспроводной системы мониторинга, с применением радиочастотных модулей. Акцент сделан на гибкость настроек, большом количестве подключаемых датчиков, низкой цене. Рассмотрен принцип работы, нюансы работы системы, основная элементная база.

Р.И. Паровик

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА РАДОНА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СЛОЕ ПОРИСТОГО ГРУНТА

Ключевые слова: математическая модель, цилиндрический слой, диффузия, адвекция, функция Куммера, функция Трикоми.

В работе предложены математические модели переноса радона с учетом механизмов диффузии и адвекции в цилиндрическом слое пористого грунта. Найдены аналитические решения моделей с учетом краевых условий.

А.В. Пермяков, И.А. Евдокимов, Т.В. Вобликова
ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СЫВОРОТКИ В ТЕХНОЛОГИИ ЛАКТОЗЫ

Ключевые слова: мембранные методы, деминерализация, сыrovотка.

В работе представлены результаты изучения возможности получения лактозы из соленой подсырной сыrovотки с предварительной обработкой сырья мембранными методами.

Keywords: dynamic loads, vector parameters, digital monitoring, error.

The article discusses the metrological problems of a dynamic loads vector parameters when using a system with three-component vibration sensors. Analyzes the dynamic errors sources and false precession of the received vector when using the analog and digital measuring systems. Formulated targets for the elimination of the amplitude and phase distortions in the vector parameters measurement of non-stationary dynamic loads.

R.A. Nurmukhametov, Y.A. Chursin

IMPLEMENTATION PROTOCOL STACK TCP/IP MICROCONTROLLER WITH ARM7 CORE BASED

Keywords: Protocol Stack, TCP/IP, client, server, packet, Ethernet, data, interface, microcontroller

This article presents the common information about protocol stack TCP/IP and the implementation results this protocol stack in laboratory board SDK 2.0 produced by «ООО ЛМТ».

V.V. Opolsky, U.A. Chursin

LOW COST WIRELESS MONITORING SYSTEM

Keywords: RF modules, monitoring system, sensors

This paper presents a method of implementing a wireless monitoring system using RF modules. Emphasis is placed on flexibility of options, variety of connected sensors, low price. The principle of operation, the nuances of the system, the main element base was discussed.

R.I. Parovik

MATHEMATICAL MODEL OF TRANSPORT OF RADON IN A CYLINDRICAL LAYER OF POROUS SOIL

Keywords: mathematical model, cylindrical layer, diffusion, advection, Kummer function, Tricomi function. *This paper describes a mathematical model based on radon transport mechanisms of diffusion and advection in a cylindrical layer of porous soil. The analytical solution of the model taking into account the boundary conditions.*

A.V. Permyakov, I.A. Evdokimov, T.V. Voblikova
THE APPLICATION OF MEMBRANE PROCESSING METHODS OF WHEY IN LACTOSE TECHNOLOGY
Keywords: membrane methods, demineralization, whey. *The results of the possibility's studying of lactose's getting from the salty cheese whey with raw material's pre-processing by membrane methods are presented in this work.*

А.П. Пустовгар, П.А. Лавданский, А.В. Журавлев,
А.В. Есенов, В.В. Медведев, А.Д. Веденин
ТЕПЛОЫДЕЛЕНИЕ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА
СЕРПЕНТИНИТОВОГО БЕТОНА

Ключевые слова: серпентинитовый бетон, «сухая защита» ядерного реактора, гидратация цемента, тепловыделение.

В статье рассмотрено тепловыделение гидратации цемента серпентинитового бетона, используемого при производстве «сухой» защиты ядерных реакторов АЭС, в условиях добавления в цемент воздушной негашеной извести и суперпластификатора на основе поликарбоксилата.

А.М. Пушкин
МОДЕЛЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ
ОБЪЕКТОВ ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ
ПРОЦЕССОРОМ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВОЗВРАТОВ

Ключевые слова: теория расписаний, перемещающийся процессор, стационарные объекты, стратегия обслуживания, динамическое программирование.

Вводится модель обслуживания расположенных в одномерной рабочей зоне стационарных объектов перемещающимся процессором при выполнении им рейса между крайними точками зоны. Возможны определенным образом ограниченные возвраты процессора к ранее оставленным не обслуженными объектам. Для каждого объекта указаны: ранний срок начала его обслуживания, требуемая продолжительность обслуживания и функция индивидуального штрафа. Формулируется задача синтеза оптимальной стратегии функционирования процессора, излагается алгоритм решения, приводится иллюстрирующий пример.

С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, М.В. Лукин, А.В. Лукина,
А.С. Грибанов

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕСТРУКТИВНЫХ
УЧАСТКОВ ОПОРНЫХ ЗОН ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК
ПУТЕМ ПРОПИТКИ ПОЛИМЕРНЫМ РАСТВОРОМ

Ключевые слова: высокоподвижные твердеющие растворы, полимерная композиция, усиление опорных зон деревянных элементов, технологический процесс восстановления работоспособности древесины.

В статье изложен способ восстановления и усиления путем инъектирования высокоподвижных твердеющих растворов в тело поврежденных элементов деревянных конструкций. Представлен оптимальный пропитывающий состав на основе эпоксидной матрицы. Определены прочностные показатели усиленных элементов и предложена технология их усиления.

Е.В. Сафонова
СВЧ ДАТЧИКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ
ДИАГНОСТИКИ БЫСТРЫХ ПРОЦЕССОВ В
ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Ключевые слова: СВЧ датчики, микроволновое зондирование внутрикамерного пространства,

A.P. Pustovgar, P.A. Lavdansky, A.V. Zhuravlev,
A.V. Esenov, V.V. Medvedev, A.D. Vedenin
HYDRATION HEAT RELEASE OF CEMENT IN
SERPENTINE CONCRETE

Key words: radiation shielding concrete, nuclear reactor "dry" shield, cement hydration, heat release.

The paper examines application of serpentinite concrete in the construction of "dry" shield for nuclear power plant reactor. Authors analyze the possibility of excluding thermal treatment of "dry" shield by introduction the mineral additive that increases heat release of cement hydration in serpentinite concrete. The paper presents results of experimental research the thermal effect during hydration of mixtures based on Portland cement with the addition of unslaked lime and carboxylate.

A.M. Pushkin
A MODEL OF STATIONARY OBJECTS SERVICE
BY A MOVING PROCESSOR WITH RETURN
POSSIBILITY

Keywords: scheduling theory, moving processor, stationary objects, servicing strategy, dynamic programming.

A model of service is introduced for stationary objects located in a one-dimensional working zone by a moving processor during a cruise zone between the end points. Limited returns are possible in certain ways for the processor to remaining objects previously not served. For each object the required early date of service, length of service and function of individual fines is defined. The problem of synthesis of optimal strategy processor operation is formulated with the algorithm of solutions and an example.

S.I. Roshchina, E.A. Smirnov, M.V. Lukin, A.V. Lukina,
A.S. Gribanov

DESTRUCTIVE RECOVERY PHASE REFERENCE
ZONE WOODEN BEAMS BY IMPREGNATION OF
THE POLYMER SOLUTION

Keywords: highly mobile hardening solutions, the adhesive composition, increased support zones wooden elements, process recovery efficiency of wood.

The article describes a way to restore and strengthen by injecting high-mobility solutions of hardening the body-damaged elements of wooden structures. Presents optimal impregnating composition based on an epoxy matrix. Determined by the strength characteristics of reinforced elements and the technology of their gain.

E.V. Safonova
MICROWAVE SENSORS APPLICATIVE FOR THE
FAST PROCESS DIAGNOSTICS IN THERMAL
POWER ENGINES

Keywords: microwave sensors, intrachamber space microwave probing, autodyne effect, ring-slit antenna.

автодинный эффект, кольцевая-щелевая антенна.

В работе представлены результаты исследований СВЧ датчиков, предназначенных для диагностики наиболее динамичных процессов в камерах сгорания и других узлах тепловых энергетических установок ТЭУ во время старта и в полете. Основными объектами контроля являются космические и авиационные двигатели, требующие быстрой и точной диагностики их работы и мгновенного отслеживания предаварийной ситуации.

**В.А. Столярчук
ПОСТПРОЦЕССОР УЧЕБНО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ САЕ SIGMA ДЛЯ
ОБУЧЕНИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ САПР
АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ**

Ключевые слова: САЕ-система, метод конечных элементов, постпроцессор, открытое программное обеспечение

В работе представлено краткое описание постпроцессора учебно-исследовательской программной системы, предназначенной для подготовки разработчиков программ инженерного анализа, используемых в САПР авиационно-космической техники. Назначение постпроцессора – вывод результатов расчета в наиболее удобной для анализа форме и построение графиков сходимости. Объект расчета – пластина, работающая в своей плоскости. Простота объекта и задачи обусловлены учебно-методическими целями. Графический интерфейс реализован с использованием стандартной библиотеки WinForms и технологии MDI (Multi Document Interface), что позволяет одновременно работать с несколькими проектами. Сама разработка реализована на языке C# с использованием платформы .NET (разработка велась в IDE Microsoft Visual Studio 2010 Ultimate) и библиотека Tao Framework, предоставляющая разработчикам .NET и Mono доступ к возможностям популярных библиотек типа OpenGL и SDL. В процессе эксплуатации постпроцессора получен большой методический опыт и накоплен определенный научный результат.

**Н.М. Труфанова, Д.П. Пасынков
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЧИСЛЕННЫЙ
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ
РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ**

Ключевые слова: математическая модель, резиновая изоляция кабеля, степень полимеризации

Построена математическая модель процесса конвективного теплообмена с учетом вулканизации резиновой изоляции кабеля. Получены поля скоростей, температур в вулканизационной трубе, определена степень полимеризации резины по высоте изоляции. Рассмотрено влияние на степень сшивки технологических и физических параметров процесса.

**О.А. Туснина
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕСТКОСТИ СОЕДИНЕНИЯ
ТОНКОСТЕННОГО ГНУТОГО ПРОГОНА
ПОКРЫТИЯ С СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЬЮ**

This paper presents an investigation results dedicated to the microwave sensors applicative for diagnostics of the most dynamic processes in combustion chambers and other thermal power engines (TPE) nodes during the takeoff and flight. The main test subjects are space- and aero-engines, demanding fast and precise diagnostics of their operation and instantaneous control of pre-emergency situations.

**V.A. Stolyarchuk
POSTPROCESSOR OF THE SIGMA SYSTEM FOR
TRAINING OF DEVELOPERS OF CAD
APPLICATIONS USED IN AEROSPACE
INDUSTRY**

Keywords: CAE, Finite Element Procedures, Postprocessor, Open Source Software.

This article describes a Postprocessor of an educational training software program intended for preparation of developers of engineering analysis systems used in CAD systems in aerospace industry. The purpose of postprocessor is calculation results output in the most convenient form for analysis and convergence charting. The plate working in its own plane is taken as calculation object due to educational and methodological objectives to make easy object and tasks. The UI of the system was designed with the purpose of training the user. It was developed using standard WinForms library. The application is using MDI (Multi Document Interface) technology allowing users to work on multiple projects. The development was done in C# programming language using .NET platform (IDE Microsoft Visual Studio 2010 Ultimate) and Tao Framework that allows .Net and Mono developers access to OpenGL and SDL. During the use of the Postprocessor significant scientific results and lots of hands on experience were obtained.

**N.M. Trufanova, D.A. Pasenkov
MATHEMATICAL MODELS AND NUMERICAL
ANALYSIS OF THE VULCANIZATION PROCESS
OF RUBBER INSULATED**

Keywords: mathematical model, rubber cable insulation, the degree of polymerization

A mathematical model of the process of convective heat with the vulcanization of the rubber cable insulation. The fields of velocity, temperature in the curing tube, determine the degree of polymerization of rubber adjustment isolation. The influence of the degree of crosslinking process, and physical parameters of the process.

**O.A. Tushina
EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF
ROTATIONAL RESTRAINT OF PURLINS GIVEN
BY SANDWICH PANELS**

Keywords: numerical analysis, test, thin-walled purlin,

Ключевые слова: численный расчет, эксперимент, тонкостенный прогон, сэндвич-панель

В статье приводятся результаты численного и экспериментального исследований жесткости соединения тонкостенного гнутого прогона с сэндвич-панелью. Погрешность, полученная при численном расчете составляет не более 10%. Результаты исследований использованы при разработке инженерной методики определения жесткости соединения тонкостенного прогона с сэндвич-панелью.

Р.С. Ульянов, Ю.Л. Беккер
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ И
ИСКУССТВЕННЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ В

ЗАМКНУТЫХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Ключевые слова: система автоматического управления, микроклимат, искусственное освещение, изолированные помещения, автономная среда

В статье рассмотрены перспективы создания и применения систем квази-естественного микроклимата и освещения с автоматическим управлением. Предложена предполагаемая схема реализации, представлен анализ актуальности поставленного вопроса.

П.А. Хаванов, А.С. Чуленёв
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ
ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Ключевые слова: теплогенераторы малой мощности, режимы работы, теплообмен

Рассматриваются особенности теплообмена в радиационных и конвективных поверхностях нагрева водогрейных котлов малой мощности. Обосновываются рациональные условия конструирования поверхностей нагрева, данные проиллюстрированы графическими зависимостями.

М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк
ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
ФОРМИРОВАНИЯ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИИ

Ключевые слова: нелинейные закономерности, квантовые эффекты, прочность материалов, порывы ветра

В работе представлены результаты исследования тонких закономерностей формирования нагрузок на строительные конструкции. В качестве иллюстрации широкого спектра полученных результатов рассматриваются неизвестные ранее в различных разделах технической механике квантовые эффекты. Основное внимание в статье уделяется квантовым эффектам разрушения материалов и квантовым закономерностям формирования экстремальных ветровых нагрузок.

М.С. Хлыстунов, В.И. Прокопьев, Ж.Г. Могилюк
ВЕРИФИКАЦИЯ КВАНТОВЫХ
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ
ПОРЫВОВ ВЕТРА В ЛОНДОНЕ

Ключевые слова: ветровые нагрузки, скорость ветра, возбуждение, квантовые закономерности

В статье представлены результаты

sandwich panel

The results of numerical and experimental research of rotational restraint given to thin-walled purlin by sandwich panels are given in the paper. Error obtained in comparison of the results of numerical analysis with testing is no bigger than 10%. The obtained results were used in development of calculation method for determine the rotational spring stiffness for case of sandwich panels.

R.S. Ulyanov, Y.L. Bekker
PROSPECTS OF APPLICATION CLIMATE
CONTROL SYSTEM AND ARTIFICIAL LIGHTING
CONTAINED ISOLATED PREMISES

Keywords: automatic control system, climate, artificial lighting, isolated areas, stand-alone environment.

The article considers the prospects for the creation and application of systems of quasi-eststvennogo microclimate and lighting automatic control. Offered the alleged scheme implementation, presents an analysis of the relevance of the question posed.

P.A. Khavanov, A.S. Chulenyov
GENERAL ISSUES OF DESIGNING LOW POWER
THERMAL GENERATORS

Keywords: heat generators low power modes, modes of operation, heat transfer

The features of heat transfer in the radiative and convective heating surfaces of hot-water heat generators of low power. Justified by rational design conditions of heating surfaces, the data is illustrated by plots.

M.S. Hlystunov, Zh.G. Mogiljuk
THIN REGULARITIES INVESTIGATION OF LOADS
FORMATION ON STRUCTURES

Keywords: non-linear patterns, quantum effects, materials strength, wind gusts

The paper presents the subtle patterns study results of loads on the building structure. To illustrate the wide spectrum of the obtained results are discussed previously unknown quantum effects in the different sections of the technical mechanics. The main attention is paid to the quantum effects of materials destruction and quantum regularities of extreme wind loads formation.

M.S. Hlystunov, V.I. Prokopiev, Zh.G. Mogiljuk
VERIFICATION OF WIND GUSTS FORMATION
QUANTUM REGULARITIES IN LONDON

Keywords: wind loads, wind speed, excitation, quantum laws

The article presents the fundamental investigations results of wind gusts nonlinear patterns in London. The

фундаментальных исследований нелинейных закономерностей формирования порывов ветра в Лондоне. Целью представленного в статье исследования был поиск неизвестных ранее проявлений квантовых эффектов в макропроцессах. В качестве базового метода в исследованиях использовались инструменты статистической физики. В результате исследований авторам доклада удалось установить неизвестные ранее проявления квантовых закономерностей в формировании порывов ветра.

В.Н. Хмелев, А.В. Шалун, Р.С. Доровских,
В.А. Нестеров

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ
РАСПЫЛЕНИЯ АНТИКОАГУЛЯНТА В ПРОБИРКИ
ДЛЯ ЗАБОРА КРОВИ**

Ключевые слова: ультразвук, распыление, оптимальные режимы, антикоагулянт, пробирка для забора крови

В статье приводятся результаты исследований по выбору оптимальных режимов (частота и амплитуда) ультразвукового (УЗ) воздействия при распылении антикоагулянтов для обеспечения требуемого диаметра получаемых капель и производительности, необходимых при проектировании УЗ распылителей.

Г.Я. Чернобровкин, И.А. Ефанова
**РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ГИПСОЛИТОВЫХ БЛОКОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЫ-УНОС НЧГРЭС**

Ключевые слова: зола-унос, золотипс; структурообразование, прочность

В работе рассмотрены составы и технология изготовления гипсолитовых блоков с введением золы-уноса Новочеркасской ГРЭС для улучшения физико-механических характеристик изделий на гипсовом вяжущем, а также для сокращения расхода гипса.

П.С. Чурин, О.И. Поддаева, О.О. Егорычев
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАКЕТОВ УНИКАЛЬНЫХ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИКЕ**

Ключевые слова: аэродинамика зданий и сооружений, методика макетирования, уникальные здания и сооружения, аэродинамические трубы, экспериментальная аэродинамика

В статье рассматриваются вопросы проектирования макетов уникальных зданий и аэроупругих макетов – макетов «гибких» конструкций (мосты, мачты, трубы, испарительные градирни и пр.) при физическом моделировании ветровых нагрузок в специализированных аэродинамических трубах. Уникальность методики проектирования таких макетов связана с высокой сложностью воспроизведения массово-инерционных и частотных характеристик реального объекта.

Ю.А. Чурсин, С.С. Михалевич
**ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСЧЕТ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ
КОНТУРОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

aim of presented study was to search for previously unknown quantum effects in the macro-processes. As a basic method of research was used the statistical physics tools. In the research the authors of this report was able to establish previously unknown manifestations of quantum regularities in the wind gusts formation.

V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, R.S. Dorovskikh,
V.A. Nesterov

**SELECTION OF OPTIMAL MODES OF
ULTRASONIC ACTION FOR SPRAYING OF
ANTICOAGULANT IN BLOOD COLLECTION TUBE**

Keywords: ultrasound, spraying, optimal modes, anticoagulant, blood collection tube

The article presents the results of research on the selection of optimal modes (frequency and amplitude) of the ultrasonic impact when spraying anticoagulants to achieve the desired diameter of droplets and performance required in the design of ultrasonic atomizers.

G.Ya. Chernobrovkin, I.A. Efanova
**DEVELOPMENT OF STRUCTURES AND RESEARCH
of the MAIN PROPERTIES OF GIPSOLITOVs of
BLOCKS WITH USE of ZOLY-UNOS NCHGRES**

Keywords: ashes ablation, zologips; structurization, durability

In work structures and manufacturing techniques of gipsolitovy blocks with introduction of ashes ablation of Novocherkassk state district power station for improvement of physicomachanical characteristics of products on plaster knitting, and also for reduction of a consumption of plaster are consider

P.S. Churin, O.O. Egorychev, O.I. Poddaeva
**DESIGN OF UNIQUE BUILDINGS AND
STRUCTURES MODELS IN EXPERIMENTAL
AERODYNAMICS**

Keywords: aerodynamics of buildings and structures, methods of modeling, unique buildings and facilities, wind tunnels, experimental aerodynamics

The article deals with the issues of designing layouts unique buildings and aeroelastic models - models of "flexible" structures (bridges, towers, chimneys, cooling towers, etc..) With physical modeling of wind loads in specialized wind tunnels. The uniqueness of the design techniques such models due to the high complexity of reproducing the mass-inertia and frequency characteristics of the real object.

Yu.A. Chursin, S.S. Mihalevich
**IDENTIFICATION AND SOLUTION OF
ALGEBRAIC LOOPS IN DYNAMIC SYSTEMS**

Ключевые слова: система автоматизированного регулирования, алгебраический контур, математическое моделирование, алгоритм, программное средство

В статье представлен алгоритм решения алгебраических контуров в системах автоматического управления. Детально описаны все функции, используемые в алгоритме. Предлагаемый подход к решению алгебраических контуров реализован в специализированном программном средстве. Приведен пример решения алгебраического контура.

А.Д. Чучалина, А.С. Ширкунов, В.Г. Рябов
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ТЯЖЁЛЫХ
НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ В КАЧЕСТВЕ
СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ГРАНУЛИРОВАННЫХ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ

Ключевые слова: гранулированный активный уголь, связующее, гранулирование, коксуетость, динамическая вязкость, битум, асфальт, каменноугольная смола.

Приведены результаты исследований по поиску альтернативных видов связующих для производства гранулированных активных углей. Выявлено, что использование в качестве связующих тяжёлых нефтяных остатков в чистом виде не позволяет достичь необходимого уровня коксуетости одновременно с достаточно низкой вязкостью, что негативно скажется на качестве получаемых активных углей. В то же время при компаундировании маловязких продуктов с компонентами, имеющими высокую коксуетость, возможно получение связующего, характеристики которого находятся на оптимальном уровне.

И.А. Шиколенко, Ю.Л. Беккер
КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И УЧЕТА
ЭНЕРГОРЕСУРСОВ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

Ключевые слова: система автоматического управления, инженерные системы, освещение, учет энергоресурсов, системы безопасности, диспетчеризация

В статье рассмотрена концепция автоматизации инженерных систем здания и коммерческого устройства энергоресурсов представлена схема организации предполагаемой системы, рассмотрены аспекты безопасности физической и информационной безопасности.

А.Г. Щербинин, Д.А. Шишкин, А.С. Мансуров
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛУПРОВОДЯЩИХ
ЭКРАНОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ СИЛОВОГО
ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КАБЕЛЯ

Ключевые слова: математическая модель, электрическое поле, силовой кабель, дефекты.

Построена математическая модель электромагнитных процессов силового кабеля, методом конечных элементов решена задача электрического поля кабеля. Получена картина электрического поля кабеля в случае целостности его

Keywords: automatic control system, algebraic loop, dynamic system, algorithm, software

Problem of algebraic loops in automatic control system is presented. Authors show new algorithm of automatic detection algebraic loops in user system All functions of presented algorithm are described in detail. Proposed way is included in software for simulating automatic control systems. One theoretical example of suggested algorithm is validated.

A.D. Chuchalina, A.S. Shirkunov, V.G. Ryabov
ANALYSIS OF APPLICABILITY OF HEAVY OIL
RESIDUES AS BINDER IN GRANULATED ACTIVE
COALS PRODUCTION

Keywords: granulated active coals, binder, granulation, coking, dynamic viscosity, bitumen, asphalt, coal tar. Paper contains research results of alternative binders for the granulated active coals production. It is shown that the use as binders of single heavy oil residues does not allow to achieve the required level of coking at the same time with a sufficiently low viscosity, which will adversely affect the quality of the resulting active coals. At the same time when low viscosity products were mixed with components having a high coking it is possible to obtain a binder with optimal characteristics.

I.A. Shikolenko, U.L. Bekker
CONCEPT APPLICATION AUTOMATION
ENGINEERING SYSTEMS AND ENERGY POLICIES
APARTMENT BUILDINGS

Keywords: automatic control engineering systems, lighting, energy accounting, security, scheduling The article discusses the concept of automation engineering systems and commercial energy device is a schematic organization of the proposed system, considered the safety aspects of physical and information security.

A.G. Shcherbinin, D.A. Shishkin, A.S. Mansurov
ANALYSIS OF THE ELECTRIC FIELD OF POWER
HV CABLE AND TO ASSESS THE IMPACT OF
VARIOUS FACTORS ON ITS REDISTRIBUTION
Keywords: mathematical model, the electric field, power cable, defects.

A mathematical model of the electromagnetic processes of power cables, the finite element method to solve the problem of the electric field cable. Get the picture of the electric field in the case of cable integrity of its design. The influence of the electric field distribution on cable construction defects such as lack of semiconducting

конструкции. Рассмотрено влияние на распределение электрического поля кабеля отсутствие полупроводящих слоев по жиле и изоляции.

А.Г. Щербинин, Д.А. Шишкин, А.С. Мансуров
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ТОКОВ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Ключевые слова: математическая модель, температурное поле, силовой кабель, рабочие токи. Построена математическая модель тепловых процессов силового кабеля. Методом конечных элементов решена задача стационарного процесса теплопроводности кабельной линии. Определены токовые нагрузки кабелей для различных способов прокладки и схем заземления экранов.

А.И. Юсупова, И.Г. Шайхиев
ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ МОДЕЛЬНЫХ
СТОКОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИОНЫ Cu(II) ,
ОПИЛКАМИ И ЭКСТРАКТАМИ ИЗ КОРЫ
QUERCUS ROBUR

Ключевые слова: опилки коры дуба, экстракт из опилок коры дуба, ионы меди, очистка. Исследована возможность использования опилок из коры дуба в качестве сорбционного материала для извлечения ионов Cu(II) из модельного раствора с исходной концентрацией 1000 мг/дм^3 в статических условиях. Определена эффективность использования экстрактов из опилок коры дуба для очистки модельного раствора, содержащего ионы Cu(II) . Установлено, что эффективность очистки при использовании экстракта для ионов меди (II) достигает 55 % при модификации экстракта щелочью.

Д.А. Яковлев
УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
В СТОХАСТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ

Ключевые слова: Электротехнические системы, гидрогенераторы, случайно изменяющиеся параметры, стохастические дифференциальные уравнения.

В работе исследуются алгоритмы анализа динамики и синтеза систем управления в электротехнических системах с гидроагрегатами. На основе использования стохастических дифференциальных уравнений со случайно изменяющимися параметрами описываются нестационарные динамические процессы. Представлены результаты компьютерного моделирования решения задачи управления на основе адаптивных систем.

layers on conductor and insulation.

A.G. Shcherbinin, D.A. Shishkin, A.S. Mansurov
DEFINITION OF OPERATING CURRENT HIGH
VOLTAGE CABLES

Keywords: mathematical model, the temperature field, power cable, operating currents

A mathematical model of the thermal process of the power cable. Finite element method to solve the problem of steady heat conduction of the cable line. Identified current loads of cables for different laying methods and schemes shield grounding.

A.I. Yusupova, I.G. Shaihiyev
RESEARCH EFFICIENCY OF USING SAWDUST OF
PURIFICATION OF THE MODEL WATERS
CONTAINING IONS COPPER (II) BY OAK BARK
AND THE EXTRACT FROM THE SAWDUST OF
OAK BARK

Keywords: oak bark sawdust, oak bark sawdust extract, copper ions, cleaning

It was investigated possibility of using sawdust from oak bark as sorption material for extraction of ions of copper (II) of model solution with initial concentration of 1000 mg/dm^3 in static conditions. It was defined efficiency of use of extracts from oak bark sawdust for purification of the model solution containing ions of Cu (II) . Efficiency of cleaning by using extract for ions of copper (II) reaches 55% at extract modification by alkali.

D.A. Jakovlev
DINAMIC PROCESSES CONTROL IN STOCHASTIC
ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

Keywords: electromechanical systems, hydroelectric generators, randomly changing parameters, stochastic differential equations.

This paper presents the results of the study of algorithms of analysis and synthesis of control systems in electromechanical systems with hydroelectric generators. Using stochastic differential equations with randomly changing parameters described nonstationary dynamic processes. Computer models of adaptive control systems solutions are presented.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№5 2014

Направления:

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 30.10.2014 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

20,7 усл.печ.л. 23,8 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1573.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420111, Республика Татарстан, Казань,

ул. Университетская, д.22, оф. 310

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»