

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№6 2014

Направления:

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

Казань

2014

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №6 2014г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – 412 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**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

<i>А.Р. Абдуллаев, Е.В. Конопацкая, Э.В. Плехова</i> О ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ ОПЕРАТОРЕ ВТОРОГО ПОРЯДКА С СИНГУЛЯРНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ	14
<i>В.В. Дружинин, А.Г. Сироткина</i> ДОКАЗАТЕЛЬСТВО БЕСКОНЕЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ ВИДА $(n^2 + 1)$	19
<i>М.В. Радионова</i> К ВОПРОСУ О РАЗЛИЧИИ ПОКАЗАТЕЛЬНОГО И ПОЛУНОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЙ	22
<i>А.А. Rogovoy, Н.К. Салихова</i> КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОСАДКИ СТАЛЬНОГО СЛИТКА	25
<i>Л.Р. Фахрутдинов</i> АЛГОРИТМ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЕЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГИПЕРУПРУГИХ ТЕЛ	29
<i>Е.А. Черноиванова, П.А. Шаманаев</i> КЛАССИФИКАЦИЯ И АСИМПТОТИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ	35

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>В.Н. Авдащенко, Я.А. Васина, Ю.А. Стринаджина, С.В. Кузнецов</i> СИНТЕЗ ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ	38
<i>О.И. Бахирева, А.Е. Пластинина, А.А. Циппер, М.А. Шишкин, А.В. Басов, С.А. Иларионов, В.Н. Басов</i> СОПРЯЖЕННЫЙ МЕТОД ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ	42
<i>О.И. Бахирева, Ю.А. Попова, А.А. Циппер, А.В. Басов, С.А. Иларионов, В.Н. Басов</i> СОРБЦИОННО-ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	45
<i>П.А. Катасонов, Д.С. Мартемьянов</i> АДСОРБЦИЯ КАТИОНОВ СВИНЦА НА МАГНЕТИТЕ, ПОЛУЧЕННОМ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ	48

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Г.В. Абакумов, В.А. Бузин, Е.И. Макаров</i> ФОРМИРОВАНИЕ РЕСУРСА МАСЛЯНЫХ ФИЛЬТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПЕРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	51
<i>Б.А. Адамович, В.А. Вестяк</i> ПРОБЛЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА МАРСЕ	54
<i>В.И. Ампилов</i> ДИДАКТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОННЫХ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ	62
<i>И.И. Антонова, С.Ф. Хасанова</i> ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ КРИТЕРИЕВ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРЕМИИ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА	65
<i>А.В. Базанов, В.И. Бауэр, Е.С. Козин, М.В. Немков, А.А. Мухортов</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В НЕФТЕПРОВОДНОЙ ОТРАСЛИ	69
<i>А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, М.М. Мухаметдинов</i> К ВОПРОСУ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИВОДА КОЛЁС АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ	74
<i>С.С. Беляев, Г.П. Жигулин</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ UMTS КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ	77

<i>Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, М.В. Ильин</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВКЛЮЧЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ТИРИСТОРЕ	80
<i>А.П. Буйносов, Д.С. Денисов</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВОВ 2ЭС10 С РАЗЛИЧНОЙ МАРКОЙ БАНДАЖЕЙ	84
<i>А.П. Буйносов, А.М. Кислицын</i> УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБМЕРА ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛОКОМОТИВА	87
<i>А.П. Буйносов, И.О. Шепелева</i> СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛУЧЕННЫХ НА МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАМИ	91
<i>Т.В. Бурнышева</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АНИЗОГРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	94
<i>Т.В. Бурнышева</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ АНИЗОГРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	98
<i>Л.В. Быков, П.В. Никитин, О.А. Пашков</i> РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕРАВНОМЕРНОГО СНОСЯЩЕГО ПОТОКА С КОНСТРУКЦИЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	103
<i>Л.В. Быков, О.А. Пашков, А.А. Яковлев</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С НЕСУЩИМ ФЮЗЕЛЯЖЕМ	108
<i>А.А. Волков, Б.И. Гиясов, П.Д. Челышков, А.В. Седов, Б.С. Стригин</i> ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ И ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЗДАНИЙ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ	111
<i>В.В. Воронин</i> СИСТЕМНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ СИГНАЛОВ	114
<i>В.А. Воронцов, Торрес Санчес Карлос Херардо</i> ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА СХЕМО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ СПУСКАЕМЫХ АППАРАТОВ	118
<i>Д.М. Вохмин, Н.С. Захаров</i> ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ	123
<i>Д.Ф. Гайнутдинова, В.Я. Модорский, А.В. Козлова</i> ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КАВИТАЦИИ ПРИ ВИБРАЦИЯХ	127
<i>И.Б. Гинзбург</i> СОСТАВ И АРХИТЕКТУРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДУЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО НАСЫЩЕННОГО АВТОНОМНОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	130
<i>Е.В. Давыдова, Л.Б. Строгонова</i> НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКИПАЖА ПИЛОТИРУЕМОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ К ПУСКУ	134
<i>М.Л. Долженкова, В.Ю. Мельцов, Г.А. Чистяков</i> СХЕМА ПОТОКА ЛОГИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МЕТОДА ВЫВОДА НА БАЗЕ ОПЕРАЦИИ ДЕЛЕНИЯ ДИЗЬЮНКТОВ	140
<i>С.И. Дубинский, Я.Е. Григорьева</i> РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОМ НА СТАДИИ, БЛИЗКОЙ К ИСЧЕРПАНИЮ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS	144

<i>И.В. Дуничкин, О.А. Егорычев, Д.А. Жуков</i> АНАЛИЗ ЗАСТРОЙКИ КВАРТАЛА ЛА ДЕФАНС В ПАРИЖЕ	147
<i>Г.Н. Жмаков</i> РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЛИВНЕВЫХ СТОКОВ АЭРОПОРТОВ РОССИИ	151
<i>Е.Н. Журавлева</i> РЕШЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛИЗИРУЮЩИХ ЯДЕР. ЗАДАЧА О ШТАМПЕ	154
<i>Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, В.А. Ракитин</i> МЕТОДИКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЕЙ	158
<i>А.А. Кабанов</i> ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ИЗДЕЛИЙ ЛА С УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЯ НАСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ДИСКРЕТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В ХОДЕ ИХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ	161
<i>М.В. Ковба</i> ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВА ФОНОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ПАССИВНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ СРЕДСТВАХ ОБНАРУЖЕНИЯ	169
<i>В.И. Колесов, Д.М. Новоселов, М.Л. Гуляев</i> СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПАССАЖИРОПЕРЕВОЗОК	173
<i>В.А. Корчагин, В.Н. Красовский</i> ГРАФ-МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ ПО МАРШРУТАМ РЕМОНТА С УЧЕТОМ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ НЕЙРОСЕТЕВОМ ПОДХОДЕ	177
<i>В.Н. Коханенко, М.Ф. Мицик, М.А. Лемешко, Е.В. Шевченко, Я.Ю. Лаврова</i> ГРАНИЧНАЯ ЗАДАЧА СВОБОДНОГО РАСТЕКАНИЯ БУРНОГО ПОТОКА В ШИРОКОМ РУСЛЕ С МАЛЫМ УКЛОНОМ ДНА	181
<i>Е.Л. Кузнецова</i> СОПРЯЖЕННЫЙ ТЕПЛООБМЕН В АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЕ	187
<i>Т.С. Кумыков, Р.И. Паровик</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ВО ФРАКТАЛЬНЫХ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ	191
<i>В.А. Курочкин</i> РЕАЛИЗАЦИЯ БЮДЖЕТНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	194
<i>В.В. Ланин</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ РАБОТЫ АНАЛИТИКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	197
<i>С.В. Лановецкий</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА МАРГАНЦЕВОГО РАСТВОРА НА РАЗМЕР ЧАСТИЦ ДИОКСИДА МАРГАНЦА	200
<i>С.В. Лекомцев, Д.О. Панов, М.Ю. Симонов, И.Н. Шардаков</i> СПОСОБЫ ДОСТИЖЕНИЯ НИЖНЕГО БЕСКАРБИДНОГО БЕЙНИТА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ СТАЛЕЙ	204
<i>Е.Н. Леонов</i> ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ МАЛЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ КОГЕНЕРАЦИИ	210
<i>З.Р. Лихов, В.Х. Хуранов, М.И. Бжахов, А.Я. Джанкулаев</i> УЧЕТ ПОЛНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В АЛГОРИТМЕ РАСЧЕТА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	213
<i>В.В. Ломакин, И.С. Шаповалова, О.С. Резниченко, Н.А. Клименко</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КОРПОРАТИВНОЙ КУЛЬТУРОЙ ОРГАНИЗАЦИИ	218
<i>А.В. Макаренко, М.А. Быковский, А.К. Редькин</i> ГРАФЫ СОСТОЯНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ СИСТЕМ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН	221
<i>В.В. Малышев, А.В. Федоров, Р.А. Егоров</i> МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ КА ПРИ ПАРИРОВАНИИ ВНЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ	225

<i>А.О. Махорин, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев</i> СИМУЛЯЦИЯ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ С УЧЕТОМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ	228
<i>А.О. Махорин, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев</i> ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ УЗЛОВ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ	233
<i>А.Л. Медведский, Г.В. Федотенков, А.А. Матушкин, В.В. Терентьев</i> РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ АЭРОУПРУГОГО ТОРМОЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ СПУСКЕ В АТМОСФЕРЕ	237
<i>А.Л. Медведский, Г.В. Федотенков, В.В. Терентьев, С.О. Фирсюк</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОСАДОЧНОГО УСТРОЙСТВА ПЕРСПЕКТИВНОГО СПУСКАЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ ПОСАДКИ НА ГРУНТ	242
<i>Мин Тейн</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ТРАЕКТОРИИ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА СИСТЕМУ ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИХ ОРБИТ	247
<i>С.С. Михалевич, С.А. Байдали</i> МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ В МНОГОСВЯЗНЫХ САУ	251
<i>С.С. Михалевич, С.А. Байдали</i> НАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ В ИНТЕРВАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ	255
<i>В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков</i> ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОСЕВОМ ВЕНТИЛЯТОРЕ	259
<i>В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков</i> РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСЕВОГО ВЕНТИЛЯТОРА	262
<i>П.А. Мошков</i> НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ СВЕРХЛЕГКОГО САМОЛЕТА В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	265
<i>П.А. Мошков, А.А. Яковлев</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАПОТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВИАЦИОННОЙ ПОРШНЕВОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ	271
<i>П.А. Мошков, А.А. Яковлев</i> К ВОПРОСУ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ШУМА ВОЗДУШНОГО ВИНТА	275
<i>А.А. Наненков, В.М. Готовцев, В.Д. Сухов, А.И. Сазонов</i> ЭФФЕКТ СТРУКТУРИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	278
<i>А.А. Наненков, В.М. Готовцев, В.Д. Сухов, А.И. Сазонов</i> МЕХАНИЗМ СТАРЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА	281
<i>В.С. Наумов, Т.А. Наумова, И.В. Нестеров</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ СБОРНЫХ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КЛИНОВИДНЫХ БЛОКОВ	284
<i>О.А. Новоселов, Р.А. Зиганин, А.Н. Макарова</i> ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН	288
<i>А.Н. Париуков</i> СИНТЕЗ МОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ПРИ НАЛИЧИИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ОПИСАНИЯ В ОБЪЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ	291
<i>В.Ф. Пегашкин, И.И. Вендер, Е.В. Пегашкина</i> ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО ПРИПУСКА МЕЖДУ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВЫПОЛНЯЕМЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЯ	295

<i>А.Г. Поздеев, И.М. Шарафутдинов, А.Ю. Ржепкин</i> ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФЛЮИДИЗАЦИОННОГО СКОРОМОРОЗИЛЬНОГО АППАРАТА	298
<i>А.Г. Поздеев, И.М. Шарафутдинов, А.Ю. Ржепкин</i> РАСЧЕТ РЕБРИСТО-ТРУБНОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ В ПРИКЛАДНОЙ СРЕДЕ MATHCAD	303
<i>Е.А. Портнов, А.Н. Блазнов, В.Ф. Савин, О.В. Старцев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ АРМИРОВАННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ВОЛОКНАМИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	310
<i>В.Г. Рубан, А.М. Матва</i> ПОСТРОЕНИЕ КОНФОРМНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗНОГО КОЛЕСА И РЕЛЬСА	314
<i>Н.О. Сапоженков, А.Н. Макарова</i> ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ	318
<i>С.Б. Сборщиков</i> ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ	321
<i>О.Р. Середкина, М.А. Куликов, С.Г. Козлов, О.К. Косвинцев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ ГАЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ	324
<i>И.Н. Сидоров, В.В. Туктарова</i> ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЭФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ И ДЕМПФИРОВАНИЯ ОПОР РАЗГОННО-БАЛАНСИРОВОЧНОГО СТЕНДА ПРИ БАЛАНСИРОВКЕ ГИБКИХ РОТОРОВ	329
<i>Р.А. Сизякин, В.В. Воронин, В.И. Марчук, С.Р. Ибадов, Р.Р. Ибадов, И.С. Свириин</i> ОБНАРУЖЕНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ДЕФЕКТОВ НА ФОТОГРАФИЯХ НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНЫХ БИНАРНЫХ ШАБЛОНОВ	333
<i>А.Д. Сиразетдинова, В.С. Кравцов</i> РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ В СИСТЕМЕ УЧЕТА ВАГОНОВ С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ В ПУНКТАХ ПОГРУЗКИ	337
<i>А.Д. Сиразетдинова, М.В. Фуфачева</i> ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ РАБОТНИКОВ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ КРАСНОЯРСКОГО ФИЛИАЛА ОАО «РЖД»	340
<i>Т.А. Смирнова</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ БОТИНОК ДЛЯ КАТАНИЯ НА РОЛИКОВЫХ КОНЬКАХ	342
<i>Е.Н. Созинова</i> ВЫЯВЛЕНИЕ РИСКОВ И ИХ АНАЛИЗ ПРИ ПОСТРОЕНИИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ	345
<i>А.В. Солнцева, С.А. Борминский</i> МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЗАПОЛНЕНИЯ РЕЗЕРВУАРА НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ОТРАЖЕННОГО ОТ КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДЫ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА	348
<i>В.А. Столярчук</i> ПОДСИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФРОНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ	352
<i>С.А. Федосин, С.А. Ямашкин</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА БАЗЕ ДАННЫХ ДЗЗ	356
<i>В.Н. Хмелёв, С.С. Хмелёв, Р.Н. Голых, Ю.М. Кузовников, Д.С. Абраменко, К.А. Карзакова</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В КАВИТИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРОТОЧНЫХ РЕАКТОРОВ	359
<i>В.Н. Хмелёв, Р.Н. Голых, А.В. Шалунов, В.А. Нестеров, А.В. Шалунова, Е.В. Ильченко</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ПУЗЫРЬКОВ С ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА «ЖИДКОСТЬ-ГАЗ» ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РЕЖИМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ МАКСИМАЛЬНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КОНТАКТА ФАЗ	362

<i>В.Х. Хуранов, М.И. Бжахов, А.Я. Джанкулаев, З.Р. Лихов</i> НОВОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ РАВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ	365
<i>И.Ф. Шакиров, Н.С. Захаров</i> МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА РАСХОД ТОПЛИВА СПЕЦИАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ АЭРОПОРТОВ	368
<i>А.Ф. Шароварников, Д.А. Корольченко, А.В. Бяков</i> АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПЕНОЙ НА ОСНОВЕ ФТОРСИНТЕТИЧЕСКИХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ ГАЗОВО-СОЛЕВОЙ СЛОЙ ВОДЫ	371
<i>А.М. Эльшейх</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ 4D ГРАФИКА СТРОИТЕЛЬСТВА	374
<i>А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева</i> ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ МЕДИ ИЗ СМЕШАННЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАСКОРА	377
АННОТАЦИИ	382

THE RELEASE MAINTENANCE

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

<i>A.R. Abdullaev, E.V. Konopackaya, E.V. Plehova</i> ON THE SECOND ORDER DIFFERENTIAL OPERATORS WITH SINGULAR POTENTIALS	14
<i>V.V. Druzhinin, A.G. Sirotkina</i> PROOF OF AN INFINITE NUMBER OF PRIMES OF THE FORM (n^2+1)	19
<i>M.V. Radionova</i> TO THE QUESTION ABOUT THE DISTINCTION BETWEEN EXPONENTIAL AND HALF-NORMAL DISTRIBUTIONS	22
<i>A.A. Rogovoy, H.K. Salikhova</i> FINITE-ELEMENT SIMULATION OF THE UPSET FORGING TECHNOLOGICAL PROCESS FOR STEEL INGOT	25
<i>L.R. Fakhrutdinov</i> ALGORITHM AND RESULTS OF NUMERICAL RESEARCH OF FINITE DEFORMATIONS OF HYPERELASTIC SOLIDS	29
<i>E.A. Chernoiivanova, P.A. Shamanaev</i> CLASSIFICATION AND ASYMPTOTIC EQUIVALENCE OF DIFFERENTIAL AND DIFFERENTIAL-FUNCTIONAL EQUATIONS	35

CHEMICAL SCIENCE

<i>V.N. Avdashenko, Ya.A. Vasina, Yu.A. Strinadkina, S.V. Kuznetsov</i> SYNTHESIS OF HYDROXYAPATITE FOR BIOCOMPATIBLE CERAMIC MATERIALS AND STUDY ITS PROPERTIES	38
<i>O.I. Bahireva, A.E. Plastinina, A.A. Cipper, M.A. Shishkin, A.V. Basov, S.A. Ilarionov, V.N. Basov</i> CONJUGATE METHOD OF NEUTRALIZATION SURPLUS SLUDGE BIOLOGICAL TREATMENT PLANTS	42
<i>O.I. Bahireva, U.A. Popova, A.A. Cipper, A.V. Basov, S.A. Ilarionov, V.N. Basov</i> SORPTION-ENZYMATIC METHOD OF WASTEWATER TREATMENT	45
<i>P.A. Katasonov, D.S. Martemjanov</i> LEAD CATION ADSORPTION ONTO MAGNETITE THAT WAS OBTAINED BY PLASMA-ELECTROLYTIC ATOMIZATION OF CARBON STEELS	48

ENGINEERING SCIENCE

<i>G.V. Abakumov, V.A. Buzin, E.I. Makarov</i> OIL STRAINERS RESOURCE FORMING OF ENGINES UNDER VARIABLE OPERATION CONDITIONS	51
<u><i>B.A. Adamovich</i></u> , <i>V.A. Vestyak</i> PROBLEMS OF LIFE-SUPPORT ON MARS	54
<i>V.I. Ampilov</i> DIDACTIC COMPONENTS OF THE SYSTEM FOR DEVELOPMENT OF ELECTRONIC TECHNICAL DRAWINGS OF SPARE PARTS	62
<i>I.I. Antonova, S.F. Hasanova</i> IDENTIFICATION OF INTERRELATIONS OF CRITERIA OF A NATIONAL AWARD OF THE GOVERNMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE FIELD OF QUALITY	65
<i>A.V. Bazanov, V.I. Bauer, E.S. Kozin, M.V. Nemkov, A.A. Mukhortov</i> IMPROVING THE EFFICIENCY OF TECHNICAL EXPLOITATION OF VEHICLES AND SPECIAL TECHNICS IN THE PIPELINE INDUSTRY	69
<i>A.Yu. Barykin, R.R. Basyrov, M.M. Mukhametdinov</i> TO THE QUESTION OF SYSTEM ANALYSIS OF THE OPERATING CONDITIONS OF THE DRIVE WHEELS OF KAMAZ VEHICLES	74
<i>S.S. Belyaev, G.P. Zhigulin</i> FORECASTING OF STATUS OF MOBILE SYSTEMS CONTROL UMTS CHANNEL	77

<i>N.N. Bepalov, Yu.V. Goryachkin, M.V. Ilyin</i> DEFINITION OF THE LINEAR PROPAGATION VELOCITY OF ON STATE TO THE THYRISTOR	80
<i>A.P. Buinosov, D.S. Denisov</i> THE COMPARATIVE ANALYSIS OF WEAR OF WHEELPAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES 2ES10 WITH VARIOUS BRAND OF BANDAGES	84
<i>A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn</i> ULTRASONIC MEASURING PORTS OF AUTOMATIC SYSTEM FOR MEASUREMENT OF PARAMETERS OF WHEELPAIRS AT THE MOVEMENT OF THE LOCOMOTIVE	87
<i>A.P. Buinosov, I.O. Shepeleva</i> COMPARISON OF RESULTS OF THE BANDAGES OF WHEELPAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES RECEIVED ON MODEL OF THERMAL PROCESS OF PROCHNENIYA OF STEEL WITH EXPERIMENTS	91
<i>T.V. Burnysheva</i> MATHEMATICAL MODEL OF JOINT DEFORMATION OF ELEMENT OF ANISOGRID STRUCTURES OF SPACECRAFT	94
<i>T.V. Burnysheva</i> APPLICATION OF THE METHODOLOGY OF COMPUTING EXPERIMENT IN THE TASK OF PROJECTION AND DIAGNOSIS OF ANISOGRID STRUCTURES OF SPACECRAFT	98
<i>L.V. Bykov, P.V. Nikitin, O.A. Pashkov</i> SOLUTION OF THE PROBLEM OF UNSTEADY CROSS-FLOW INTERACTION WITH THE AIRCRAFT	103
<i>L.V. Bykov, O.A. Pashkov, A.A. Jakovlev</i> SOLUTION OF THE FLOW AIRCRAFT WITH LIFTING FUSELAGE	108
<i>A.A. Volkov, B.I. Giyasov, P.D. Chelyshkov, A.V. Sedov, B.S. Strigin</i> ARCHITECTURE OPTIMIZATION AND ENGINEERING OF MODERN BUILDINGS TO IMPROVE THEIR ENERGY EFFICIENCY	111
<i>V.V. Voronin</i> SYSTEM QUALITY CRITERIA FOR RECONSTRUCTED 2D SIGNAL	114
<i>V.A. Vorontsov, Torres Sanchez Carlos Gerardo</i> THE FEATURES SELECTION OF ENGINEERING SOLUTIONS FOR SMALL-SIZED DESCENT VEHICLES	118
<i>D.M. Vokhmin, N.S. Zakharov</i> INFLUENCE OF WORK VEHICLE JETS FOR RELIABILITY	123
<i>D.F. Gaynutdinova, V.Ya. Modorsky, A.V. Kozlova</i> COMPUTING MODELLING OF AREA OF EMERGENCE OF CAVITATION AT VIBRATIONS	127
<i>I.B. Ginzburg</i> OFFLINE-CAPABLE RICH CLIENT WEB APPLICATION MODULES COMPOSITION AND INTERACTION ARCHITECTURE FOR DISTRIBUTED AEROSPACE ENGINEERING LIFE CYCLE INFORMATION SUPPORT SYSTEMS ON DIFFERENT STAGES	130
<i>E.V. Davydova, L.B. Strogonova</i> SOME QUESTIONS OF MATHEMATICAL MODELING IN ENSURING THE SAFETY OF THE CREW MANNED TRANSPORT SPACECRAFT DURING THE PREPARATION FOR LAUNCH	134
<i>M.L. Dolgenkova, V.Yu. Meltsov, G.A. Chistyakov</i> SCHEME OF LOGICAL CALCULATIONS FLOW FOR THE GRAPHICAL REPRESENTATION OF THE INFERENCE METHOD BASED ON DISJUNCTS DIVISION OPERATION	140
<i>S.I. Dubinskiy, Ya.E. Grigoreva</i> THE ESTIMATION OF THE CONCRETE BEAMS STRENGTHENED WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMERS AT THE STAGE CLOSE TO ULTIMATE LIMIT STATE USING ANSYS	144
<i>I.V. Dunichkin, O.A. Egorichev, B.A. Zhukov</i> ANALYSIS BUILDINGS OF QUARTER LA DÉFENSE IN PARIS	147
<i>G.N. Zhmakov</i> PROJECT DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF RAIN WASTEWATER TREATMENT FACILITIES IN RUSSIAN AIRPORTS	151
<i>E.N. Juravleva</i> INTEGRAL EQUATION SOLUTION USING ORTHOGONAL CORE'S METHOD. STAMP PROBLEM	154
<i>N.S. Zakharovoy, O.A. Novoselov, V.A. Rakitin</i> A METHOD OF A COMPARATIVE ASSESMENT OF CARS CONSUMER PROPERTIES	158

A.A. <i>Kabanov</i> AIRCRAFT ANALYSIS OBJECT MODEL CONSIDERING THE PHENOMENA OF INHERITANCE FOR THE EVALUATION AND MANAGEMENT EFFICIENCY OF THE PRODUCTION SYSTEMS OF DISCRETE ENGINEERING DURING THEIR ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL DESIGN AND MODERNIZATION	161
M.V. <i>Kovba</i> BACKGROUND SURFACES ARRAY CONSTRUCTION FOR SIGNAL'S MATHEMATICAL MODELING OF PASSIVE INFRARED DETECTORS	169
V.I. <i>Kolesov</i> , D.M. <i>Novoselov</i> , M.L. <i>Gulyaev</i> SYSTEM ASPECTS IN THE PROBLEM OF QUALITY MANAGEMENT PASSENGER	173
V.A. <i>Korchagin</i> , V.N. <i>Krasovsky</i> GRAPH-MODEL DISTRIBUTION UNITS OF THE VEHICLES ON REPAIR ROUTES GIVEN THEIR TECHNICAL CONDITION OF THE NEURAL NETWORK APPROACH	177
V.N. <i>Kohanenko</i> , M.F. <i>Mitsik</i> , M.A. <i>Lemeshko</i> , E.V. <i>Shevchenko</i> , Ya.Yu. <i>Lavrova</i> BOUNDARY PROBLEM OF FREE SPREADING OF THE ROUGH STREAM IN THE WIDE COURSE WITH THE SMALL BIAS OF THE BOTTOM	181
E.L. <i>Kuznetsova</i> THE INTERFACED HEAT EXCHANGE IN THE ANISOTROPIC PLATE	187
T.S. <i>Kumikov</i> , R.I. <i>Parovik</i> MATHEMATICAL MODEL OF FORMATION AEROSOL PARTICLES FRACTAL STORM CLOUDS	191
V.A. <i>Kurochkin</i> IMPLEMENTATION LOW-COST DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM	194
V.V. <i>Lanin</i> INTELLIGENT SYSTEM OF ANALYST SUPPORT IN INFORMATION SYSTEM DESIGN	197
S.V. <i>Lanovetskiy</i> INFLUENCE STUDY OF MANGANESE SOLUTION ELECTROLYSIS CONDITIONS ON MANGANESE DIOXIDE PARTICLE SIZE	200
S.V. <i>Lekomtsev</i> , D.O. <i>Panov</i> , M.Yu. <i>Simonov</i> , I.N. <i>Shardakov</i> DIFFERENT WAYS TO ACHIEVING OF LOWER CARBIDE-FREE BAINITE FOR SPECIAL STEELS	204
E.N. <i>Leonov</i> INTEGRATION TECHNOLOGIES AT CREATION OF SMALL ELECTROTECHNICAL SYSTEMS AND COMPLEXES ON THE BASIS OF COGENERATION METHODOLOGY	210
Z.R. <i>Likhov</i> , V.Kh. <i>Khouranov</i> , M.I. <i>Bzhahov</i> , A.J. <i>Dzhankulaev</i> ACCOUNTING COMPLETE DIAGRAMS DEFORMATION OF MATERIALS IN THE ALGORITHM FOR CALCULATING FLEXURAL REINFORCED CONCRETE ELEMENTS	213
V.V. <i>Lomakin</i> , I.S. <i>Shapovalova</i> , O.S. <i>Reznichenko</i> , N.A. <i>Klimenko</i> DESIGN OF SUPPORT DECISION-MAKING SYSTEM FOR MANAGEMENT OF ORGANIZATION CULTURE	218
A.V. <i>Makarenko</i> , M.A. <i>Bykovskiy</i> , A.K. <i>Redkin</i> STATE GRAPHS FOR MODELING THE SYSTEMS OF HARVESTING MACHINES	221
V.V. <i>Malishev</i> , A.V. <i>Fedorov</i> , R.A. <i>Egorov</i> MODEL OF INTELLECTUAL CONTROL BASED ON THE DIAGNOSIS OF THE STATE OF ONBOARD SYSTEMS SPACECRAFT DURING EMERGENCY SITUATIONS PARRYING	225
A.O. <i>Makhorin</i> , S.N. <i>Padalko</i> , M.N. <i>Terentiev</i> COMPUTER SIMULATION OF A MULTI-GATEWAY WIRELESS AD HOC NETWORK BASED ON SOLUTION OF AN OPTIMIZATION PROBLEM TO DETERMINE OPTIMAL NETWORK PARAMETERS	228
A.O. <i>Makhorin</i> , S.N. <i>Padalko</i> , M.N. <i>Terentiev</i> PROBLEM FORMULATION FOR OPTIMIZING NODE PLACEMENT IN A MULTI-GATEWAY WIRELESS AD HOC NETWORK USED IN AN AEROSPACE SYSTEM	233
A.L. <i>Medvedskiy</i> , G.V. <i>Fedotenkov</i> , A.A. <i>Matushkin</i> , V.V. <i>Terentiev</i> STRENGTH CALCULATIONS BRAKING SYSTEM AEROELASTIC SPACECRAFT DURING RE-ENTRY	237
A.L. <i>Medvedskiy</i> , G.V. <i>Fedotenkov</i> , V.V. <i>Terentiev</i> , S.O. <i>Firsyuk</i> MODELING THE STRESS-STRAIN STATE OF THE LANDING DEVICE OF PERSPECTIVE SPACE VEHICLE IN LANDING ON GROUND	242

<i>Min Thein</i> OPTIMIZATION OF IMPULSIVE TRAJECTORY FOR SPACECRAFT INSERTION INTO THE SYSTEM OF OPERATIONAL HELIOCENTRIC	247
<i>S.S. Mikhalevich, S.A. Baydali</i> PID TUNING METHOD FOR MIMO SYSTEMS	251
<i>S.S. Mikhalevich, S.A. Baydali</i> PID TUNING METHOD FOR INTERVAL SYSTEMS	255
<i>V.Ya. Modorskiy, A.F. Shmakov</i> NUMERICAL CALCULATION OF GASDYNAMIC PROCESSES IN AXIAL THE FAN FROM COMPOSITE	259
<i>V.Ya. Modorskiy, A.F. Shmakov</i> CALCULATION OF STRESS-STRAIN STATE OF AXIAL FANS	262
<i>P.A. Moshkov</i> SOME RESULTS OF THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF ACOUSTICAL CHARACTERISTICS POWER PLANT EXTRALIGHT AIRCRAFT IN STATIC CONDITIONS	265
<i>P.A. Moshkov, A.A. Jakovlev</i> EXPERIMENTAL RESEARCH OF EFFECT OF THE NOSE-OVER OF THE ENGINE ON ACOUSTICAL CHARACTERISTICS OF THE AVIATION PISTON POWER PLANT	271
<i>P.A. Moshkov, A.A. Jakovlev</i> TO THE QUESTION OF NUMERICAL MODELLING OF PROPELLER NOISE	275
<i>A.A. Nanenkov, V.M. Gotovtsev, V.D. Sukhov, A.I. Sazonov</i> EFFECT OF COMPOSITE STRUCTURIZATION MATERIALS	278
<i>A.A. Nanenkov, V.M. Gotovtsev, V.D. Sukhov, A.I. Sazonov</i> AGING MECHANISM OF ASPHALT CONCRETE	281
<i>V.S. Naumov, T.A. Naumova, I.V. Nesterov</i> GENERATION OF GEOMETRY OF TUNNEL LINING BASED ON WEDGE-SHAPED BLOCKS	284
<i>O.A. Novoselov, R.A. Ziganshin, A.N. Makarova</i> REGULARITIES OF SPARE PARTS EXPENDITURE FORMING FOR TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MACHINES	288
<i>A.N. Parshukov</i> THE MODAL CONTROLLER DESIGN IN CASE STRUCTURAL-PARAMETER UNCERTAINTY OF OBJECT CONTROL	291
<i>V.F. Pegashkin, I.I. Vender, E.V. Pegashkina</i> OPTIMIZATION OF SEPARATION OF THE GENERAL ALLOWANCE BETWEEN SUCCESSIVE PROCESSING OPERATIONS PERFORMED BY HOLE	295
<i>A.G. Pozdeev, I.M. Sharafutdinov, A.Yu. Rzhepkin</i> INFORMATION-TECHNOLOGICAL MODEL OF FLUIDIZING QUICK-FREEZING MACHINE	298
<i>A.G. Pozdeev, I.M. Sharafutdinov, A.Yu. Rzhepkin</i> DESIGN OF GILLED-TUBE AIR COOLER IN MATHCAD APPLICATION ENVIRONMENT	303
<i>E.A. Portnov, A.N. Blaznov, V.F. Savin, O.V. Startsev</i> FATIGUE STRENGTH OF INORGANIC FIBER-REINFORCED POLYMER COMPOSITES	310
<i>V.G. Ruban, A.M. Matva</i> CONSTRUCTION OF CONFORMAL PROFILE WHEEL OF ELECTRIC LOCOMOTIVE AND RAIL	314
<i>N.O. Sapozhenkov, A.N. Makarova</i> SEASONAL CONDITIONS INFLUENCE ON RELIABILITY OF CARS ELECTRICAL EQUIPMENT ELEMENTS	318
<i>S.B. Sborshikov</i> INTENSIFICATION OF CONSTRUCTION OF FACILITIES OF NUCLEAR POWER. ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DECISIONS	321
<i>O.R. Seredkina, M.A. Kulikov, S.G. Kozlov, O.K. Kosvintsev</i> THE PHASE COMPOSITION OF DEPOSITS ON HEAT TRANSFER EQUIPMENT HALURGICAL PRODUCTION POTASSIUM CHLORIDE	324
<i>I.N. Sidorov, V.V. Tuktarova</i> ITERATIVE ALGORITHMS OF IDENTIFICATION OF STIFFNESS COEFFICIENT AND DAMPING OF STRUTS OF ACCELERATION BALANCER WHEN BALANCING FLEXIBLE ROTORS	329
<i>R.A. Sizyakin, V.V. Voronin, V.I. Marchuk, S.R. Ibadov, R.R. Ibadov, I.S. Svirin</i> DEFECT DETECTION AND PHOTOGRAPH RECONSTRUCTION BASED ON LOCAL BINARY PATTERNS	333

<i>A.D. Sirazetdinova, V.S. Kravtsov</i> DEVELOPMENT ACTIVITIES IN THE ACCOUNTING SYSTEM WAGONS TO REDUCE THE TIME SPENT IN LOADING POINTS	337
<i>A.D. Sirazetdinova, M.V. Fufacheva</i> TEACHING MANAGEMENT SYSTEM OF SAFETY FOR EMPLOYEES OF STRUCTURAL UNITS OF THE KRASNOYARSK BRANCH OF JSC "RUSSIAN RAILWAYS"	340
<i>T.A. Smirnova</i> IMPROVED DESIGN ELEMENTS OF BOOTS FOR ROLLER SKATES	342
<i>E.N. Sozinova</i> IDENTIFICATION OF RISKS AND THEIR ANALYSIS AT CONSTRUCTION AND FUNCTIONING OF A CONTROL SYSTEM OF INFORMATION SECURITY	345
<i>A.V. Solntseva, S.A. Borminsky</i> MEASUREMENT METHOD OF TANK INFILL BASED ON SPECTRUM ANALYSIS OF ACOUSTIC IMPULSE REFLECTED FROM THE CONTROLLED MEDIUM	348
<i>V.A. Stolyarchuk</i> FRONTAL METHOD FINITE ELEMENT MESH GENERATION SUBSYSTEM	352
<i>S.A. Fedosin, S.A. Yamashkin</i> THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SOLVING THE PROBLEM OF LAND USE MODELING BASED ON REMOTE SENSING DATA	356
<i>V.N. Khmelev, S.S. Khmelev, R.N. Golykh, Y.M. Kuzovnikov, D.S. Abramenko, K.A. Karzakova</i> THE USING OF FINITE ELEMENT MODELING OF ACOUSTIC OSCILLATIONS PROPAGATION IN CAVITATING MEDIUM FOR DEVELOPMENT OF ULTRASONIC FLOW REACTORS CONSTRUCTIONS	359
<i>V.N. Khmelev, R.N. Golykh, A.V. Shalunov, V.A. Nesterov, A.V. Shalunova, E.V. Ilchenko</i> THE STUDY OF INTERACTION BETWEEN CAVITATION BUBBLES AND LIQUID-GAS BOUNDARY AIMED AT EVALUATION OF MODES PROVIDING MAXIMUM INCREASE INTERPHASE SURFACE	362
<i>V.Kh. Khouuranov, M.I. Bzhahov, A.J. Dzhankulaev, Z.R. Likhov</i> MODERN DESIGN FOR REINFORCED CONCRETE BEAMS OF EQUAL STRENGTH	365
<i>I.F. Shakirov, N.S. Zakharov</i> MATHEMATICAL MODELS OF INFLUENCE FACTORS ON FUEL CONSUMPTION OF SPECIAL PURPOSE VEHICLES OF THE AIRPORTS	368
<i>A.F. Sharovarnikov, D.A. Korol'chenko, A.V. Byakov</i> THE ANALYSIS OF OIL SUPPRESSION BY AQUEOUS FILM FORMING FOAM THROUGH THE GAS-SALT WATER LAYER	371
<i>A.M. Elsheikh</i> AUTOMATED CONSTRUCTION PLANNING AND 4D SCHEDULING	374
<i>A.B. Yun, S.V. Zaharyan, V.A. Chen, L.M. Karimova, I.V. Terentieva</i> STUDY ON COPPER RECOVERY FROM MIXED ORE OF TASKORA DEPOSIT	377
ABSTRACTS	382

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.01.02

А.Р. Абдуллаев, Е.В. Конопацкая, Э.В. Плехова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Факультет Прикладной математики и механики, Кафедра «Высшая математика»,
г. Пермь, h.m@pstu.ru

**О ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ ОПЕРАТОРЕ ВТОРОГО ПОРЯДКА
С СИНГУЛЯРНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ**

Рассматривается линейный оператор $B: L_2[0, T] \rightarrow L_2[0, T]$, $B = I + m(C_0 - C_1)$, где C_0, C_1 – операторы Чезаро, m – действительная константа. Этот оператор является главной частью сингулярного дифференциального оператора $Ax = x'' + \frac{m}{t^2}x$. Найдены условия положительной определенности оператора B , а также эффективные оценки коэффициента сюръективности этого оператора в зависимости от значений параметра m .

Ключевые слова: радиальное уравнение Шредингера, оператор Чезаро, положительные операторы, коэффициент сюръективности.

Рассмотрим оператор

$$Ax(t) = x''(t) + \frac{m}{t^2}x(t), \quad (1)$$

где $t \in [0, T]$, m – действительная константа. Предполагается, что область определения этого оператора принадлежит пространству таких абсолютно непрерывных вместе с первой производной функций, что $x(0) = 0$, $x'(0) = 0$ и вторая производная принадлежит $L_2[0, T]$. Операторы вида (1) встречаются во многих прикладных задачах. В квантовой механике такой оператор возникает в радиальном уравнении Шредингера, а выражение $\frac{m}{t^2}$ называется центробежным потенциалом [1, стр.116]. Значительный практический интерес представляют спектральные свойства оператора A . В этой связи отметим, что полученные в работе результаты будут полезны для исследования спектральных свойств операторов, в которых присутствует оператор вида A .

Предлагаемая работа посвящена исследованию «главной части» оператора A . Символом $L_2 = L_2[0, T]$ будем обозначать гильбертово пространство измеримых и суммируемых по Лебегу с квадратом функций $y: [0, T] \rightarrow R$, со скалярным произведением $(y_1, y_2) = \int_0^T y_1(t)y_2(t)dt$ и нормой $\|y\|_{L_2} = \sqrt{(y, y)}$.

Полагая $x''(t) = y(t)$, получим следующий линейный оператор

$$By(t) = y(t) + \frac{m}{t^2} \int_0^t (t-s)y(s)ds, \quad (2)$$

действующий в пространстве $L_2[0, T]$. Свойства оператора A во многом определяются поведением оператора B .

1. Вспомогательные утверждения

Введем в рассмотрение операторы $C_\alpha, C : L_2 \rightarrow L_2$, определенные равенствами

$$C_\alpha y(t) = \frac{1}{t^{\alpha+1}} \int_0^t s^\alpha y(s) ds, \alpha - \text{const}, Cy(t) = \frac{1}{t^2} \int_0^t (t-s)y(s) ds. \quad (3)$$

Оператор C_α известен как обобщенный оператор Чезаро [2]. Вспомогательные утверждения об этом операторе позволят нам получить эффективные условия положительной определенности, а также сюръективности оператора B . Как известно авторам, при исследовании оператора A ранее оператор Чезаро не использовался. Сформулируем вспомогательные утверждения, которые потребуются нам в следующих пунктах.

Лемма 1. ([2]) Если $\alpha > -\frac{1}{2}$, то оператор $C_\alpha : L_2 \rightarrow L_2$ является ограниченным и $\|C_\alpha\| = \frac{2}{2\alpha+1}$.

Отметим, что в работе [2] лемма 1 доказана для случая $T=1$, однако анализ доказательства показывает, что утверждение леммы 1 остается в силе для произвольного $T > 0$.

Вместе с оператором C_α рассмотрим также сопряженный с ним оператор $C_\alpha^* : L_2 \rightarrow L_2$, определенный равенством

$$C_\alpha^* y(t) = t^\alpha \int_t^T \frac{y(s)}{s^{\alpha+1}} ds.$$

Лемма 2. При $\alpha > -\frac{1}{2}$ справедливо равенство

$$(C_\alpha y, y) = (y, C_\alpha^* y) = \frac{2\alpha+1}{2} \|C_\alpha^* y\|^2 \text{ для любого } y \in L_2.$$

Доказательство. Для произвольного $y \in L_2$ имеем

$$(C_\alpha y, y) = (y, C_\alpha^* y) = \int_0^T y(t) t^\alpha \int_t^T \frac{y(s)}{s^{\alpha+1}} ds dt = -\frac{1}{2} \int_0^T t^{2\alpha+1} d \left(\int_t^T \frac{y(s)}{s^{\alpha+1}} ds \right)^2 = \frac{2\alpha+1}{2} \|C_\alpha^* y\|^2.$$

Лемма доказана.

Лемма 3. Справедливо равенство

$$(C_0^* y, C_1^* y) = \frac{1}{4} \|C_0^* y\|^2 + \frac{3}{4} \|C_1^* y\|^2, y \in L_2.$$

Доказательство. Пусть y – произвольный элемент L_2 . Скалярное произведение $(C_0^* y, C_1^* y)$ преобразуем в сумму

$$\begin{aligned} (C_0^* y, C_1^* y) &= \frac{1}{2} \int_0^T \left(\int_t^T \frac{y(s)}{s} ds \right) \left(\int_t^T \frac{y(s)}{s^2} ds \right) d(t^2) = -\frac{1}{2} \int_0^T t^2 d \left[\left(\int_t^T \frac{y(s)}{s} ds \right) \left(\int_t^T \frac{y(s)}{s^2} ds \right) \right] = \\ &= \frac{1}{2} [(y, C_0^* y) + (y, C_1^* y)]. \end{aligned}$$

К каждому слагаемому применим утверждение леммы 2.

$$(C_0^* y, C_1^* y) = \frac{1}{4} \|C_0^* y\|^2 + \frac{3}{4} \|C_1^* y\|^2.$$

Лемма доказана.

Следствие. Для норы оператора $C : L_2 \rightarrow L_2$ справедливо равенство $\|C\| = 4/3$.

Для доказательства достаточно преобразовать $(C^* y, C^* y)$ с учетом равенства $C = C_0 - C_1$ и использовать при этом утверждения леммы 3.

Лемма 4. Справедливо неравенство $\|C_1^* y\| \leq \|C_0^* y\|$, $y \in L_2$.

Доказательство. Для произвольного $y \in L_2$ имеем

$$\|C_0^* y - C_1^* y\|^2 = \|C_0^* y\|^2 - 2(C_0^* y, C_1^* y) + \|C_1^* y\|^2.$$

Применяя ко второму слагаемому в правой части утверждение леммы 3, получим

$$0 \leq \frac{1}{2} (\|C_0^* y\|^2 - \|C_1^* y\|^2).$$

Отсюда следует требуемое.

Лемма доказана.

2. Положительная определенность оператора B .

Для характеристики степени положительности оператора $B: L_2 \rightarrow L_2$ будем применять величину

$$\gamma(B) = \inf_{\|y\|=1} (By, y),$$

называемую нижней границей оператора B [3, стр.239].

С учетом равенства $B = I + mC_0 - mC_1$ и утверждения леммы 2, скалярное произведение (By, y) представимо в виде

$$(By, y) = \|y\|^2 + \frac{m}{2} \|C_0^* y\|^2 - \frac{3m}{2} \|C_1^* y\|^2. \quad (4)$$

Справедлива

Теорема 1. Оператор $B: L_2 \rightarrow L_2$ является положительно определенным при $m \in (-3/4; 9/4)$, при этом справедлива оценка

$$\gamma(B) \geq \begin{cases} 1 + \frac{4}{3}m, & \text{если } m \in (-3/4; 0), \\ 1 - \frac{4}{9}m, & \text{если } m \in [0; 9/4]. \end{cases}$$

Доказательство. Пусть $m \in [0; 9/4)$. Оценим второе слагаемое в правой части равенства (4) с применением леммы 4, а затем леммы 1.

$$(By, y) \geq \|y\|^2 - m \|C_1^*\|^2 \|y\|^2 = \left(1 - \frac{4}{9}m\right) \|y\|^2.$$

Отсюда получаем, что при $0 \leq m < \frac{9}{4}$ $\gamma(B) \geq 1 - \frac{4}{9}m$.

Для $m \in (-3/4; 0)$, используя представление $By = y + mCy$ и утверждение следствия, имеем

$$(By, y) = \|y\|^2 + m(Cy, y) \geq \|y\|^2 + m \|C\| \|y\|^2 = \left(1 + \frac{4}{3}m\right) \|y\|^2.$$

Таким образом, при $m \in (-3/4; 0)$ $\gamma(B) \geq 1 + \frac{4}{3}m$.

Теорема доказана.

3. Коэффициент сюръективности оператора B .

В данной работе получим оценки коэффициента сюръективности оператора B . Оценкам коэффициента сюръективности оператора B посвящены работы [2, 4]. Коэффициент сюръективности как числовая характеристика линейного оператора занимает важное значение при исследовании различных квазилинейных краевых задач.

Коэффициент сюръективности оператора $B: L_2 \rightarrow L_2$ определим равенством

$$q(B) = \inf_{\|\omega\|=1} \|B^* \omega\|,$$

где $B^*: L_2 \rightarrow L_2$ - сопряженный к B оператор.

Лемма 5. Справедливо неравенство $q(B) \geq \gamma(B)$.

Доказательство. Из неравенства Коши-Буняковского следует соотношение

$$(By, y) = (y, B^* y) \leq \|B^* y\| \|y\|.$$

Переходя в полученном неравенстве к точной нижней грани по всем y таким, что $\|y\| = 1$ получим утверждение леммы.

Лемма доказана.

Для оценки $q(B)$, для произвольного $y \in L_2$ рассмотрим следующее представление $\|B^* y\|^2$

$$\|B^* y\|^2 = (B^* y, B^* y) = \|y\|^2 + 2m(y, C_0^* y) - 2m(y, C_1^* y) - 2m^2(C_0^* y, C_1^* y) + m^2 \|C_0^* y\|^2 + m^2 \|C_1^* y\|^2$$

Ко второму и третьему слагаемому в правой части последнего равенства применим утверждение леммы 2, а к четвертому утверждение леммы 4. Получим

$$\begin{aligned} (B^* y, B^* y) &= \|y\|^2 + m^2 \|C_0^* y\|^2 - 3m \|C_1^* y\|^2 - \frac{m^2}{2} \|C_0^* y\|^2 - \frac{3m^2}{2} \|C_1^* y\|^2 + \\ &+ m^2 \|C_0^* y\|^2 + m^2 \|C_1^* y\|^2 = \|y\|^2 + \left(m + \frac{m^2}{2}\right) \|C_0^* y\|^2 + \left(-3m - \frac{m^2}{2}\right) \|C_1^* y\|^2 = \quad (5) \\ &= \|y\|^2 + \varphi_1(m) \|C_0^* y\|^2 + \varphi_2(m) \|C_1^* y\|^2 \end{aligned}$$

где $\varphi_1(m) = m + \frac{m^2}{2}$, $\varphi_2(m) = -\frac{m^2}{2} - 3m$.

Теорема 2. Если $m \in (-\infty; -1 - 1/\sqrt{2}) \cup (-3/4; 9/4)$, то оператор $B: L_2 \rightarrow L_2$ сюръективен, при этом

$$q(B) \geq \begin{cases} 1, & m \in (-\infty; -2), \\ \sqrt{2m^2 + 4m + 1}, & m \in (-2; -1 - 1/\sqrt{2}), \\ 1 + \frac{4}{3}m, & m \in [-3/4; 0], \\ 1 - \frac{4}{9}m, & m \in [0; 9/4]. \end{cases}$$

Доказательство. Последние два неравенства в утверждении теоремы следуют из утверждений леммы 3 и оценки величины $\gamma(B)$ в теореме 1.

Предположим, что $-2 \leq m < -1 - 1/\sqrt{2}$. Тогда $\varphi_1(m) = m \left(\frac{m}{2} + 1\right) \leq 0$ и

$\varphi_2(m) = m \left(-\frac{m}{2} - 3\right) \geq 0$, и поэтому для оценки выражения (5) снизу достаточно отбросить третье слагаемое и оценить второе. Для оценки снизу второго слагаемого воспользуемся тем, что $\|C_0^*\| = 2$ (лемма 1). В этом случае имеем

$$(B^* y, B^* y) \geq \left(1 + 4 \left(m + \frac{m^2}{2}\right)\right) \|y\|^2.$$

Отсюда, для $m \in (-2; -1 - 1/\sqrt{2})$, получим $q(B) \geq \sqrt{2m^2 + 4m + 1}$.

Пусть $m < -2$. Тогда $\varphi_1(m) > 0$. Оценим второе слагаемое снизу с применением утверждения леммы 4. Имеем

$$(B^*y, B^*y) \geq \|y\|^2 + (\varphi_1(m) + \varphi_2(m)) \|C_1^*y\|^2 = \|y\|^2 - 2m \|C_1^*y\|^2 \geq \|y\|^2.$$

Таким образом, для $m \in (-\infty; -2)$ $q(B) \geq 1$. Теорема доказана.

Отметим, что утверждение теоремы 2 не охватывает промежутки изменения параметра $m \left[-1 - \frac{1}{\sqrt{2}}; -\frac{3}{4}\right] \cup \left[\frac{9}{4}; \infty\right)$. Это связано с выбранной техникой получения искомых оценок и, по-видимому, это можно отнести к недостаткам метода.

В заключении отметим, что полученные в работе результаты могут быть применены при рассмотрении положительной определенности и сюръективности как устойчивых свойств оператора B [5]. Кроме того, утверждение теоремы 2 можно применить при оценке норм операторов Грина [6] для краевых задач $Ax = f$.

Список литературы

1. Фаддеев Л.Д., Якубовский О.А. Лекции по квантовой механике для студентов математиков: Учебное пособие. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1980. – 200 с.
2. Абдуллаев А.Р., Плехова Э.В. О спектре оператора Чезаро // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №4. – С. 33-37.
3. Люстерник Л.А., Соболев В.И. Краткий курс функционального анализа: Учебное пособие. 2-е изд., стер. – СПб.: Изд-во «Лань», 2009. – 272 с.
4. Абдуллаев А.Р., Плехова Э.В. Об одной краевой задаче для сингулярного дифференциального уравнения второго порядка // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №4. – С. 30-35.
5. Абдуллаев А.Р., Конопацкая Е.В. About fixed sign as a steady property of linear operators // Вопросы трансформации образования. – 2013. – Т.1. – С. 24-27.
6. Абдуллаев А.Р., Брагина Н.А. Операторы Грина с минимальной нормой // Известия высших учебных заведений. Математика. – 2003. – №4. – С. 3-7.

01.01.06

В.В. Дружинин, А.Г. Сироткина

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

**ДОКАЗАТЕЛЬСТВО БЕСКОНЕЧНОГО КОЛИЧЕСТВА
ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ ВИДА $(n^2 + 1)$**

Методом двойного решета Эратосфена и модифицированной функции Эйлера, дающей число не удаленных чисел при наложении системы арифметических прогрессий, доказано, что количество простых чисел вида $p = (n^2 + 1)$ бесконечно. Приведены формулы плотности таких простых чисел и проверочные расчеты.

Ключевые слова: задача Эдмунда Ландау, двойное решето Эратосфена, функция Эйлера.

1. Известный израильский математик Эдмунд Ландау сформулировал в начале XX века четыре задачи из теории простых чисел (ПЧ) [1-3]. Три из них первым автором данной статьи решены (бесконечность количества пар близнецов, проблема Эйлера-Гольдбаха и проблема Лежандра) [4-6]. В данной работе решается четвертая задача: конечно или бесконечно количество ПЧ вида $(n^2 + 1)$? Реально мы рассматриваем главную последовательность $\{c(1, m) = 4m^2 + 1, m \in \mathbb{N}\}$. Нами установлено, что числа вида $c(b, m) = (2^{2^b} m^{2^b} + 1), b \in \mathbb{N}$, делятся только на ПЧ $s(b, \mu) = 2^{b+1}\mu + 1, \mu \in \mathbb{N}$, образующих базовую последовательность. В нашем случае $b = 1$ и $s = 4\mu + 1$. Для того чтобы в $\{c(1, m)\}$ выделить ПЧ надо на это множество наложить двойное решето Эратосфена, которое удаляет плохие \bar{m} и \tilde{m} , дающие составные числа $\tilde{c}(1, \tilde{m}) = (4\tilde{m}^2 + 1)$. Такое решето формируется следующим образом. Берем $m = 1$ и получаем $c(1, 1) = 5$ – ПЧ. Хорошие m , дающие ПЧ $c(1, m)$, будем обозначать \hat{m} , т. е. $\hat{m} = 1$. Всегда хороший индекс $\hat{m} = \sqrt{\mu}$, и он удаляет плохие индексы \bar{m} по правилам двух арифметических прогрессий (АП) $\bar{m}_k = \hat{m} + c(1, \hat{m}) \cdot k; \bar{m}_k = (c(1, \hat{m}) - \hat{m}) + c(1, \hat{m}) \cdot (k - 1),$ (1)

$k \in \mathbb{N}$. Поскольку плохие индексы \bar{m}_k дают составные числа

$$4\bar{m}_k^2 + 1 = (4\hat{m}^2 + 1)(4\mu_1 + 1) \dots (4\mu_t + 1),$$

то входящие в произведение ПЧ $s_t = 4\mu_t + 1$ также дают набор плохих индексов по двум новым АП

$$\tilde{m}(t)_k = \bar{m}_t + s_t \cdot (k - 1); \tilde{m}(t)_k = (s_t - \bar{m}_t) + s_t \cdot (k - 1). \quad (2)$$

Это означает, что у каждого ПЧ s_t есть свое начало (голова) АП (2) \bar{m}_t . Например, $\hat{m} = 1$ дает ПЧ $c(1, 1) = 5$, которое по (1) определяет следующие $\bar{m}_k = \{4; 6; 9; 11; 14; 16; \dots\}$. Так как $\bar{m}_1 = 4$ дает $c(1, 4) = 65 = 5 \cdot 13$, то $s_2 = 13$ по (2) дает $\tilde{m}(2)_k = 4 + 13(k - 1), \tilde{m}(2)_k = 9 + 13(k - 1)$. При этом появляются следующие плохие индексы главной последовательности от ПЧ $s_2 = 13$ базовой последовательности $\tilde{m}(2) = (4; 9; 17; 22; 30; 35; \dots)$.

Начальные члены (голова) АП для $s_t = c(1, \hat{m})$ при $\mu_t = a^2$ есть $a = \hat{m}$. Если μ_t не квадрат целого числа, то голова \bar{m}_t ищется из решения диофантова уравнения $\bar{m}_t = \sqrt{(4k + 1)\mu_t + k}$ при минимальном натуральном k . Например, у $s_2 = 13$ $\mu_2 = 3$, при $k = 1$ $\sqrt{(4k + 1) \cdot 3 + k} = 4$, т. е. $\bar{m}_2 = 4$; у $s_4 = 29$ $\mu_4 = 7$, при $k = 1$ $\sqrt{(4k + 1) \cdot 7 + k} = 6$, т. е. $\bar{m}_4 = 6$. Уравнение для связки s_t и \bar{m}_t получено с помощью детерминантного признака делимости найденного авторами статьи [6].

Зная ПЧ базовой последовательности $\{s_t\}$ и головы АП \bar{m}_t для этих ПЧ мы можем по двойному решету Эратосфена (1, 2) удалить из массива индексов $\{m\}$ главной

последовательности плохие \bar{m}_k и \tilde{m}_t и оставить только хорошие индексы \hat{m} , дающие ПЧ. В табл. №1 приведены ПЧ базовой последовательности s_t , их порядковые номера t , индексы μ_t и головы их АП. Жирным шрифтом выделены случаи $\hat{m} = \mu_t^2$.

Таблица №1. Характеристики базовой последовательности

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
s_t	5	13	17	29	37	41	53	61	73	89	97	101	109	113	137
μ_t	1	3	4	7	9	10	13	15	18	22	24	25	27	28	34
\bar{m}_t	1	4	2	6	3	16	15	25	23	17	11	5	38	49	50

Реально поиск ПЧ, т.е. хороших \hat{m} , происходит следующим образом. Берем произвольное m и по неравенству $s_t \leq \sqrt{4m^2 + 1}$ находим наибольшее ПЧ s_t . Для всех $s \leq s_t$ по табл. №1 составляем АП (1, 2) и удаляем плохие \bar{m} и \tilde{m} на отрезке $[1, m]$. Не удаленные m есть хорошие \hat{m} , и они дают ПЧ $(4\hat{m}^2 + 1)$.

Пример. $m = 20$, $s_t \leq \sqrt{4m^2 + 1} \approx 40,01$. Работают ПЧ $s = \{5; 13; 17; 29; 37\}$. Они дают такие АП: $\{1 + 5k; 4 + 5(k - 1); 4 + 13(k - 1); 9 + 13(k - 1); 2 + 17k; 15 + 17(k - 1); 6 + 29(k - 1); 3 + 37k\}$, которые удаляют $\bar{m} = \{4; 6; 9; 11; 14; 15; 16; 17; 19\}$. Не удаленные \hat{m} дают следующий последовательный набор ПЧ главной последовательности $\{5; 17; 37; 101; 197; 257; 401; 577; 677; 1297; 1601\}$. Точное число ПЧ на отрезке $[1, 20]$ $N(20) = 11$.

Далее рассмотрим модифицированную функцию Эйлера $\tilde{\varphi}(M)$, дающую количество чисел не кратных последовательному набору ПЧ $s(t) = \{s_1 = 5; s_2 = 13; s_3 = 17; \dots; s_t\}$ на отрезке $[1, M]$. $M = \prod_{k=1}^t s_k$. При этом на каждое s_k приходится две АП (1, 2). Обычная функция Эйлера $\varphi(M)$ дает число таких чисел, если на каждое ПЧ s_c приходится одна АП $\{a_c + s_c(k - 1)\}$. $\varphi(M) = M \cdot \prod_{c=1}^t (1 - (1/s_c))$. В нашем случае на каждое s_c приходится две не совпадающие АП $\{\bar{m}_c + s_c(k - 1)\}$ и $\{(s_c - \bar{m}_c) + s_c(k - 1)\}$.

Ранее мы обобщенную функцию Эйлера связывали с теоремой о наложении нескольких АП [4]. Для двух АП на каждое ПЧ

$$\tilde{\varphi}(M) = \left(\prod_{c=1}^t s_k\right) \left(\prod_{c=1}^t \left(1 - \frac{2}{s_c}\right)\right) = \prod_{c=1}^t (s_c - 2). \quad (3)$$

Пример. Пусть даны два ПЧ $s_1 = 5$ и $s_2 = 13$, их АП имеют вид

$$\{1 + 5(k - 1); 4 + 5(k - 1); 4 + 13(k - 1); 9 + 13(k - 1)\}, \quad (4)$$

$M = 65$. На отрезке $[1, 65]$ эти АП удаляют “32” числа $\{1; 4; 6; 9; 11; 14; 16; 17; 19; 21; 22; 24; 26; 29; 30; 31; 34; 35; 36; 39; 41; 43\}$

$\{44; 46; 48; 49; 51; 54; 56; 59; 61; 64\}$. Остаются $33 = (5 - 2)(13 - 2)$ числа. Часть из них ПЧ, часть числа составные. Поскольку исходные АП (1, 2) немного отличаются от АП (4), входящих в $\tilde{\varphi}(M)$, то мы введем еще одну функцию Эйлера

$$\bar{\varphi}(M) = \left(\prod_{c=1}^t s_k\right) \left(\prod_{c=1}^t \left(1 - \frac{2}{s_c}\right)\right) + t = \left(\prod_{c=1}^t (s_c - 2)\right) + t. \quad (5)$$

Это связано с тем, что мы ПЧ не удаляем. В результате вероятность обнаружить не удаленное число m на отрезке $[1, M]$ при удалении $2t$ АП (1, 2)

$$\omega(M) = \frac{\bar{\varphi}(M)}{M} = \left(\prod_{c=1}^t \left(1 - \frac{2}{s_c}\right)\right) + \frac{t}{M}. \quad (6)$$

Если мы берем отрезок $[1, m]$, на котором определили набор ПЧ $s(t)$ и по нему нашли и удалили все составные числа, то вероятностное число ПЧ на нем будет определяться формулой

$$\tilde{N}(m) = m\omega(M) = m \left(\prod_{c=1}^t \left(1 - \frac{2}{s_c}\right)\right) + \frac{mt}{M}. \quad (7)$$

При $m = 20$ (пример выше)

$$\tilde{N}(20) = 20 \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{11}{13} \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{27}{29} \cdot \frac{35}{37} + \frac{100}{1185665} \approx 7,89.$$

Точное число ПЧ $N(20) = 11$. Как показывают наши расчеты вплоть до 10^6 , (7) дает близкое, но несколько меньшее число ПЧ, чем точное значение $N(m)$, т.е. $\tilde{N}(m) < N(m)$. На это указывает и анализ расчета точных [8] и вероятностных значений.

Далее рассмотрим количество ПЧ $N(m)$ при m стремящемся к бесконечности. Пренебрегая вторым слагаемым в (6), запишем $\ln \omega(M) = \sum_{c=1}^t \ln(1 - (2/s_c))$. Далее приведем очевидные соотношения

$$\ln(1 - (2/s_c)) = -\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \left(\frac{2}{s_c}\right)^k > -\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{2}{s_c}\right)^k = -\frac{2}{s_c-2} > -\frac{4}{s_c}. \quad (8)$$

Поскольку ПЧ $s = 4\mu + 1$ составляют половину всех ПЧ (вторая половина ПЧ ($d = 4\mu - 1$)) и распределены эти множества примерно одинаково, можно воспользоваться равенством Лежандра-Чебышева

$$\sum_{c=1}^t \frac{1}{s_c} \approx \frac{1}{2} \sum_{c=1}^t \frac{1}{p_c} = \frac{\ln(K_t \ln s_t)}{2}, \quad (9)$$

и записать вероятность обнаружения не удаленного числа системой $2t$ АП

$$\omega(M) > \frac{1}{K_t^2 \cdot \ln^2 s_t}. \quad (10)$$

Поскольку $s_t \leq \sqrt{4m^2 + 1}$ и при больших $m > s_t/2$, то вероятностное число ПЧ вида $(n^2 + 1) = 4\hat{m}^2 + 1$ на отрезке $[1, m]$ определяется неравенством

$$\tilde{N}(m) = m\omega(M) > \frac{s_t}{2K_t^2 \cdot \ln^2 s_t}. \quad (11)$$

С ростом t константа Лежандра-Чебышева K_t стремится к конечному числу.

Производная по s_t от $\tilde{N}(m)$ положительна, т. е. функция $\tilde{N}(m)$ возрастает, и по правилу Лопиталья стремится к бесконечности. Так как $N(m) > \tilde{N}(m)$, то мы делаем вывод, что число ПЧ вида $(n^2 + 1)$ бесконечно.

Авторы благодарят профессора Н.С. Шевяхова, доцента В.С. Холушкина и А.А. Лазарева за обсуждение результатов и помощь в расчетах.

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. Дружинин В.В. НТВП, 2014, № 1, стр. 22.
5. Дружинин В.В. НТВП, 2014, № 3, стр.14.
6. Drushinin V.V. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, №4 (7-8), 2014, 18-19.
7. Дружинин В.В., Лобов Л.А., Сироткина А.Г. НТВП, 2012, № 5, стр. 17.
8. Дружинин В.В. НТВП, 2014, № 2, стр.14.

01.01.05

М.В. Радионова

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
г. Пермь, m.radionova@rambler.ru

К ВОПРОСУ О РАЗЛИЧЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЬНОГО И ПОЛУНОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

В работе найдено распределение инвариантов по выборке из генеральной совокупности, имеющей полунормальное распределение. На основе критерия сдвига-масштабного инварианта проведена проверка гипотезы о том, совокупность имеет показательное распределение против альтернативы, что совокупность имеет полунормальное распределение. Методом статистического моделирования проведен анализ мощности критерия. Дан сравнительный анализ этого критерия с критерием Колмогорова-Смирнова.

Ключевые слова: *критерий согласия, мощность, экспоненциальное распределение, полунормальное распределение.*

В последние годы полунормальное распределение нередко используется как альтернатива показательному распределению. Круг прикладных задач, в которых применяют это распределение, весьма широк. Так, например, это распределение применяется в геодезии, метрологии и экономике.

Применение полунормального распределения вместо показательного распределения основано на лучшем согласии с ним эмпирических данных в тех случаях, когда эксперименты проводятся в случайных условиях. Поэтому выбор из двух альтернатив – полунормальное или показательное – является актуальной прикладной задачей. Такая задача решается с помощью теории проверки статистических гипотез.

Решение задачи проверки гипотезы о виде распределения случайной величины ξ по выборке X_1, \dots, X_n , элементами которой являются независимые случайные величины, имеющие то же распределение, что и ξ , является одной из фундаментальных проблем математической и прикладной статистики. Для решения этой задачи используются различные подходы: методы, основанные на близости эмпирической и теоретической функций распределения (такие критерии, как критерии А.Н.Колмогорова и Н.В.Смирнова [1, 2]); критерии, опирающиеся на характеризацию распределения свойствами определенных статистик выборки [3, 4, 5]; тесты, основанные на моментах третьего и четвертого порядков нормального распределения (наиболее известный представитель — это критерий Жака-Бера [6]) и другие. Выбор наилучшего критерия проводят путем сравнения их функций мощности. Ясно, что применять целесообразно критерии, мощности которых достаточно быстро стремятся к 1 при объемах выборок, стремящихся к бесконечности.

Рассмотрим задачу проверки нулевой гипотезы о том, что ξ имеет экспоненциальное распределение

$$H_0 : \mathbf{P}(\xi = x) \equiv f_1(x; \sigma_1) = \frac{1}{\sigma_1} e^{-\frac{x}{\sigma_1}}, x \geq 0.$$

с параметром $\sigma_1 > 0$ и числовыми характеристиками $\mathbf{M}\xi = \sigma_1$, $\mathbf{D}\xi = \sigma_1^2$ против альтернативы, что ξ имеет полунормальное распределение с неизвестным параметром σ_2 :

$$H_1 : \mathbf{P}(\xi = x) \equiv f_2(x; \sigma_2) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{\sigma_2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_2^2}}, x \geq 0.$$

Значение параметра $\sigma_2 > 0$ полунормального распределения согласуем с σ_1 с помощью соотношения, которое определяет близкое с точки зрения Кульбака-Лейблера [7] расстояние между распределениями: $\rho(F_1, F_2) = \int_G \ln \left(\frac{f_1(x)}{f_2(x)} \right) \cdot f_1(x) \mu(dx)$. В этом случае расстояние

$$\rho(F_1, F_2) = \int_0^{+\infty} \ln \left(\frac{\frac{1}{\sigma_1} e^{-\frac{x}{\sigma_1}}}{\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{\sigma_2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_2^2}}} \right) \cdot \frac{1}{\sigma_1} e^{-\frac{x}{\sigma_1}} dx = \ln(\sqrt{\pi}\sigma_2) + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} - 1$$

достигает своего минимума при $\sigma_2 = \sqrt{2}\sigma_1$.

В работе [8] предложен метод проверки гипотез согласия, основанный на сдвиго-масштабном инварианте: имеется независимая повторная выборка X_1, X_2, \dots, X_n (n кратно 3) из генеральной совокупности X с функцией распределения F , из которой образуются величины, называемые инвариантами выборки:

$$U_1 = \frac{|X_2 - X_1|}{|X_3 - X_2|}, U_2 = \frac{|X_5 - X_4|}{|X_6 - X_5|}, \dots, U_k = \frac{|X_{k-1} - X_{k-2}|}{|X_k - X_{k-1}|}, k = \frac{n}{3}. \tag{1}$$

Распределение каждого из инвариантов U_i не зависит от параметров сдвига-масштаба распределения случайной величины X , а зависит только от функции распределения F . Основная идея метода состоит в следующем: вместо сложной гипотезы H_0 проверяется простая гипотеза: $H_0^G : F(u) = G_0(u)$, где $G_0(u)$ определяется теоремой 1 [8]; вместо сложной конкурирующей гипотезы H_1 проверяется простая гипотеза $H_1^G : F(u) = G_1(u)$, где в качестве $G_1(u)$ берется функция (3).

Исходная выборка X_1, \dots, X_n (пусть n кратно 3) редуцируется в выборку инвариантов (1). Для решения задачи проверки гипотезы H_0^G против H_1^G воспользуемся критерием отношения правдоподобия, являющийся по теореме Неймана-Пирсона [7,9] наиболее мощным. Статистика критерия определяется выражением

$$L = L(U_1, U_2, \dots, U_k) = \frac{\prod_{i=1}^k g_1(U_i)}{\prod_{i=1}^k g_0(U_i)}, \tag{2}$$

где $g_0(u_i)$ и $g_1(u_i)$ - плотности распределений, соответствующих гипотезам H_0^G и H_1^G соответственно. Гипотезу H_0^G следует принять с уровнем значимости α , если $L < L(\alpha)$, где $L(\alpha)$ определяется из условия: $P(L > L(\alpha)) = \alpha$.

Теорема. Если X_1, X_2, X_3 - независимые одинаково распределенные случайные величины, имеющие полунормальное распределение с параметром $\sigma_2 > 0$, то инвариант $U_1 = \frac{|X_2 - X_1|}{|X_3 - X_2|}$ имеет функцию распределения

$$G_0(u) = \frac{1}{\pi} \left[\arctg \left(\frac{2u-1}{\sqrt{3}} \right) + \arctg \left(\frac{2u+1}{\sqrt{3}} \right) \right], u \geq 0.$$

Исследование мощности критерия осуществлялось при значениях параметра σ_1 от 0,1 до 1 с шагом 0,1 с использованием метода статистического моделирования по следующей схеме:

1-ый этап. Для нахождения величин $L(\alpha)$ моделировалось $N = 10^4$ выборок X_1, X_2, \dots, X_n объема n , имеющих показательное распределение (соответствующее проверяемой H_0^G),

затем по каждой выборке определялись величины U_i (1) и значение статистики L (6). $L(\alpha)$ полагалось равным эмпирической квантиле порядка αN .

2-ой этап. Моделируем $N = 10^4$ выборок X_1, \dots, X_n объема n , имеющих полунормальное распределение с параметром $\sigma_2 = \sqrt{2}\sigma_1$, затем по каждой выборке определялись величины U_i и значение статистики L . Выборка из L_1, L_2, \dots, L_N была упорядочена по возрастанию $L_{(1)}, L_{(2)}, \dots, L_{(N)}$ и мощность критерия определялась, как статистическая вероятность события $\{L_{(i)} \geq L(\alpha)\}$.

Ниже в таблице представлены результаты расчета мощности критериев при разных объемах выборки n , параметра σ_1 и заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$. Для сравнения мощности критерия был рассмотрен критерий Колмогорова-Смирнова. Расчеты производились с использованием пакета *Wolfram Mathematica 9*.

Таблица

Мощность критериев сдвиго-масштабного инварианта и критерия Колмогорова-Смирнова

σ_1	$n = 20$		$n = 50$		$n = 100$		$n = 200$		$n = 300$		$n = 500$	
	СМИ	К.-С.	СМИ	К.-С.	СМИ	К.-С.	СМИ	К.-С.	СМИ	К.-С.	СМИ	К.-С.
0,10	0,033	0,028	0,113	0,065	0,116	0,141	0,183	0,215	0,235	0,274	0,341	0,374
0,20	0,094	0,070	0,162	0,145	0,253	0,273	0,389	0,400	0,506	0,523	0,675	0,696
0,30	0,138	0,107	0,238	0,222	0,382	0,413	0,602	0,650	0,746	0,785	0,900	0,925
0,40	0,197	0,157	0,341	0,309	0,528	0,574	0,775	0,821	0,888	0,922	0,980	0,989
0,50	0,244	0,200	0,456	0,411	0,652	0,704	0,883	0,916	0,960	0,980	0,996	0,998
0,60	0,298	0,243	0,550	0,496	0,757	0,812	0,945	0,970	0,989	0,996	0,999	0,999
0,70	0,359	0,300	0,642	0,579	0,830	0,884	0,977	0,989	0,996	0,998	0,999	0,999
0,80	0,408	0,347	0,717	0,650	0,888	0,932	0,989	0,996	0,998	0,999	0,999	0,999
0,90	0,459	0,381	0,781	0,714	0,927	0,958	0,997	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
1,00	0,515	0,440	0,836	0,772	0,954	0,981	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999

Анализ табл. 1 показывает, что критерий сдвиго-масштабного инварианта оказался более мощным при различении альтернатив «показательное распределение — полунормальное распределение» при некоторых значениях входных параметров, а именно, при небольших объемах выборки ($n=20$ и $n=50$).

Список литературы

1. *Королук В.С.* О критериях согласия А.Н. Колмогорова и Н.В. Смирнова // Киев. инстит. математ. РА СССР,- 1954. - 58 с.
2. *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики/ // М.: Наука, 1983. - 416с.
3. *Бернштейн С.Н.* Об одном свойстве, характеризующем закон Гаусса // Тр. Ленингр. политех. института.- 1941 - вып. 3 - С. 21-22.
4. *Каган А.М., Линник Ю.В., Рао С.Р.* Характеризационные задачи математической статистики // М: Наука, - 1972.- 248 с.
5. *Клебанов Л.Б.* О характеризации одного семейства распределений свойством независимости статистик // Теория вероятностей и ее применение,-1973, - вып.3.- С.639-642.
6. *Jarque C.M., Bera A.K.* A Test for Normality of Observations and Regression Residuals // *International Statistical Review*, - 1987, - vol.55. – P. 163-172.
7. *Боровков А.А.* Математическая статистика: оценка параметров и проверка гипотез. М.: Наука. — 1984. — 472 с.
8. *Радионова М.В.* Критерий сдвиго-масштабного инварианта для проверки нормальности данных // Вестник Ижевского государственного технического университета. — 2009. — Вып.1(41). — С. 144-146.
9. *Леман Э.* Проверка статистических гипотез // - М.:Наука, 1964. - 408 с.

01.02.04

А.А. Роговой, Н.К. Салихова

Институт механики сплошных сред УрО РАН,
лаборатория нелинейной механики деформируемого твердого тела,
Пермь, snk021@mail.ru

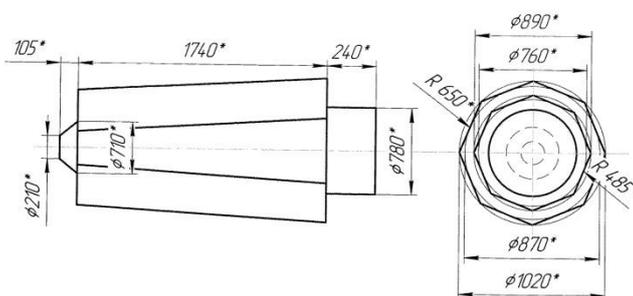
КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОСАДКИ СТАЛЬНОГО СЛИТКА

Представлены результаты численного моделирования процессов осадки стальной заготовки и ее последующей разгрузки. Расчет проведен на базе конечно-элементного программного комплекса SIMULIA/Abaqus. Исследована точность полученных результатов в зависимости от числа конечных элементов.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, конечно-элементное моделирование, заготовка из стали марки 30 ХГСА.

Осадкой является технологический процесс, в результате которого происходит увеличение поперечных размеров заготовки за счет уменьшения ее высоты.

В работе с помощью программного комплекса SIMULIA/Abaqus проводится трехмерное конечно-элементное моделирование процессов осадки слитка и его последующей разгрузки. Объектом исследования является заготовка из высококачественной легированной стали марки 30 ХГСА в виде восьмигранной усеченной пирамиды, первоначальные форма и размеры которой приведены на рис. 1 а. Задача исследования – определение формы и напряженно-деформированного состояния слитка в процессе осадки и по его завершению. Моделирование напряженно-деформированного состояния осуществлялось по следующей схеме технологического процесса. Сначала заготовка нагревается и выдерживается в печи до получения однородной температуры 500°C . Затем слиток устанавливается вертикально, меньшим сечением вверх, как показано на рис. 1 б, и с помощью деформирующего инструмента осаживается с высоты 1740 мм до 1230 мм, что соответствует осевой деформации 29.3%. За счет сил трения, действующих на поверхности контакта между заготовкой и элементами технологического оборудования, возникает бочкообразование [1, 2], которое приводит к искажению формы слитка и порождает в нем неоднородное напряженно-деформированное состояние.



а

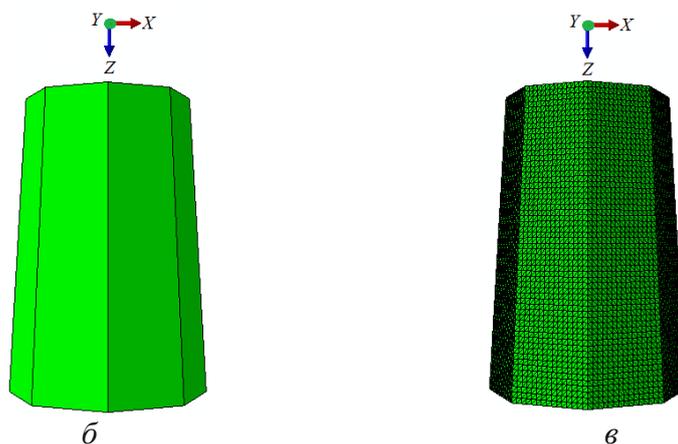


Рис. 1 – Форма и размеры заготовки (а), упрощенный вид исследуемого тела (б) и его конечно-элементная модель (в), выполненные с помощью SIMULIA/Abaqus

Считалось, что деформирование слитка происходит изотермически при температуре 500°C , а заготовка является изотропным упругопластическим телом. Механические характеристики стали марки 30 ХГСА: модуль упругости $E = 173$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$, предел прочности $\sigma_b = 690$ МПа, условный предел текучести $\sigma_{0.2} = 640$ МПа, $\delta = 21\%$ – остаточное удлинение после разрыва [3–6].

Нелинейная задача осадки решалась в перемещениях. Полагалось, что нижний торец слитка скреплен с жестким недеформируемым основанием, а верхний торец осаживается по оси z на величину 510 мм при отсутствии перемещений вдоль осей x и y . Использовалась тетраэдральная форма конечных элементов типа C3D4 (4-node linear tetrahedron) в обозначениях SIMULIA/Abaqus. Пример дискретной модели расчетной области представлен на рис. 1 в.

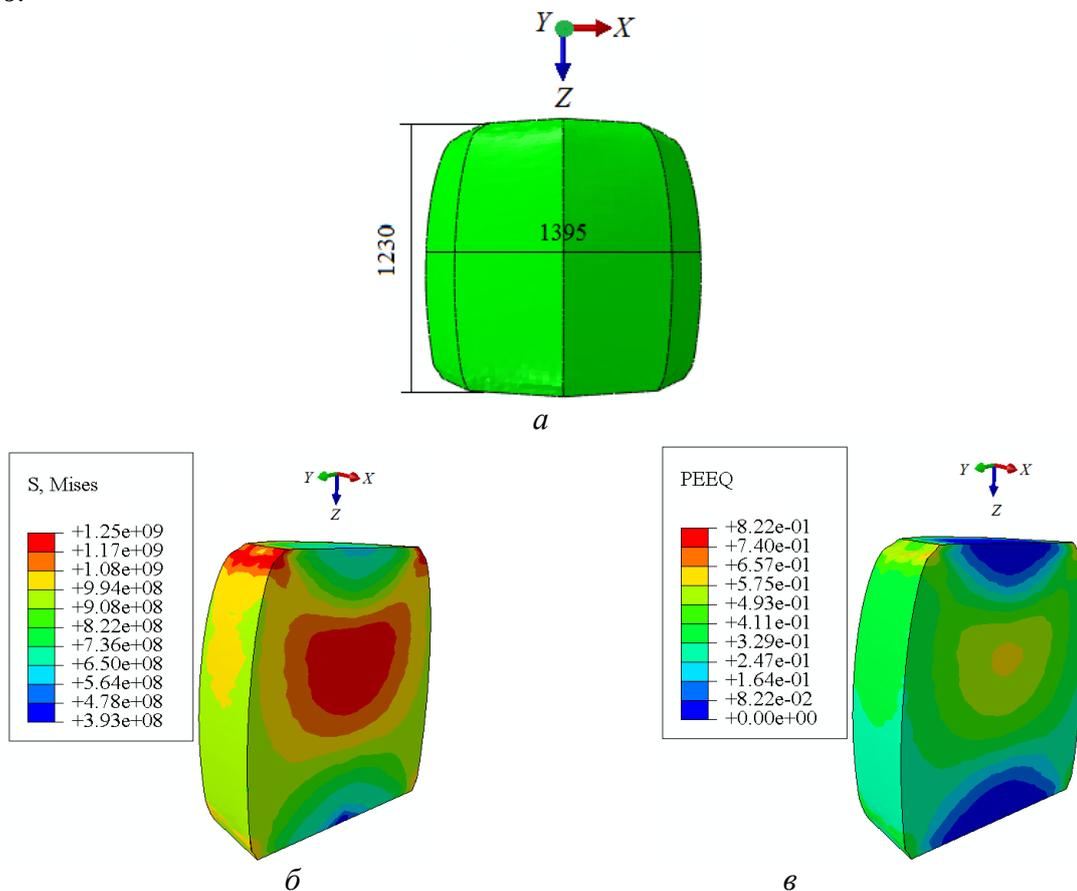


Рис. 2 – Форма заготовки (а), распределение интенсивности напряжений (б, Па) и интенсивности пластических деформаций (в) в конце процесса осадки

Результаты вычислительного эксперимента осадки стальной заготовки на величину 29.3% иллюстрирует рис. 2. Видно (рис. 2 а), что в конце процесса осадки боковая поверхность имеет вид выпуклой одинарной бочки.

Были проведены вычислительные эксперименты по моделированию процесса разгрузки осаженной стальной заготовки. Некоторые результаты расчета приведены на рис. 3.

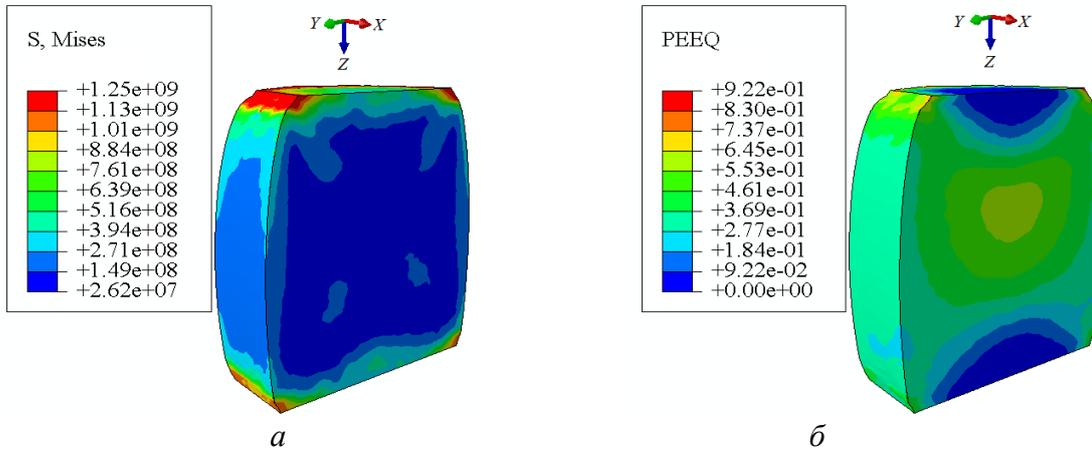


Рис. 3 – Распределение интенсивности напряжений (а, Па) и интенсивности пластических деформаций (б) в стальном слитке после разгрузки

Результаты численного моделирования на рис. 2 б, в и 3 показаны для сечения слитка вертикальной плоскостью, проходящей через его центральную ось, и для прилегающей к этому сечению поверхностей. Из этих рисунков видно, что величина интенсивности пластических деформаций неоднородна в теле и после разгрузки практически не меняется (упругие деформации составляют десятые доли процентов). В силу этой неоднородности в заготовке после разгрузки присутствуют значительные остаточные напряжения.

Сходимость процедуры решения упругопластической задачи в программном комплексе SIMULIA/Abaqus достигается автоматически и в данной задаче для этого требуется не более 28 итераций. Точность решения зависит от числа конечных элементов. Для установления их оптимального количества выполнена серия численных экспериментов по осадке стального слитка при различной дискретизации расчетной области. График изменения величины максимальной по модулю главной пластической деформации, вычисленной в центральной точке на оси исследуемого тела в зависимости от числа элементов N , представлен на рис. 4. Видно, что значение этой деформации достигает практически неизменного значения 0.2826 при $N \geq 275124$ (решения в двух соседних точках $N = 275124$ и $N = 850935$ отличаются примерно на 0.01%). Поэтому для экономии времени счета задача решалась с использованием 275124 элементов (50025 узлов), и результаты, представленные на рис. 2 и 3, соответствуют именно такой дискретизации.

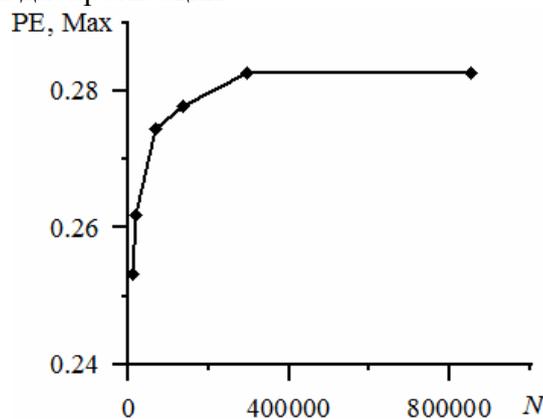


Рис. 4 – Зависимость величины максимальной по модулю главной пластической деформации в центральной точке на оси заготовки от числа элементов.

Полученные в работе результаты нашли применение в реальном секторе экономики.

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

Список литературы

1. Зувев М.И., Култыгин В.С., Виноград М.И. и др. Пластичность стали при высоких температурах. – М.: Metallurgizdat, 1954. – 104 с.
2. Павлов И.М., Федосов Н.М., Северденко В.П. и др. Обработка металлов давлением.– М.: Metallurgizdat, 1955. – 484 с.
3. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. Справочник. – М.: Metallurgiya, 1976. – 488 с.
4. Центральный металлический портал РФ. URL: http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/30XGSA (дата обращения: 14.03.2014).
5. Банкина О.С., Дзюба А.С., Хватан А.М. Метод построения диаграмм деформирования « σ – ϵ » по справочным механическим характеристикам материала // Труды ЦАГИ. – 2000. – № 2639. – С. 36-38.
6. Bruhn E.F. Analysis and Design of Flight Vehicle Structures. –Jacobs Pub, 1973. – 650 p.

01.02.04

Л.Р. Фахрутдинов

Казанский (Приволжский) федеральный университет
Казань, bishchumbek@gmail.com

АЛГОРИТМ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЕЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГИПЕРУПРУГИХ ТЕЛ

В работе описана методика исследования трехмерных тел из гиперупругих материалов с использованием меры деформации Фингера. Дается кинематика движения среды, напряженное состояние описывается тензором истинных напряжений Коши – Эйлера. Большое внимание уделено алгоритму получения линеаризованных физических соотношений в напряжениях Коши – Эйлера.

Рассмотрен пример получения линеаризованных физических соотношений в напряжениях Коши – Эйлера для материала, описываемого потенциалом Муни – Ривлина. Численная реализация основана на методе конечных элементов в рамках инкрементального метода

Ключевые слова: гиперупругие материалы, конечные деформации, метод конечных элементов, резиноподобные материалы.

Введение

К гиперупругим материалам относят различные эластомеры, и другие подобные полимеры, отличительной особенностью которых является то, что они допускают большие деформации, сохраняя при этом упругие свойства. С точки зрения МДТТ речь идет о нелинейно упругих телах, при деформировании которых необходимо учитывать геометрическую нелинейность в рамках больших деформаций. Подобного рода проблемы рассматриваются во многих статьях и обобщены в ряде монографий, среди которых можно выделить работы [1-9]. В них приводится обширная библиография по данному вопросу и изложены основные положения по построению определяющих соотношений, и в данной статье этот материал активно используется. Из числа журнальных публикаций можно отметить статьи [10-20], посвященные гиперупругим материалам, в которых также рассматриваются различные варианты построения определяющих соотношений для определенных типов материалов и приводятся примеры решения задач. Методика, описанная здесь, в идейном плане близка к методам, использованным в работах [19-22]. Соотношения приводятся в наиболее компактной форме прямого тензорного исчисления. Для подробного ознакомления с методами и технологией работы с такой формой записи можно обратиться к работам [1, 3, 5].

Кинематика среды

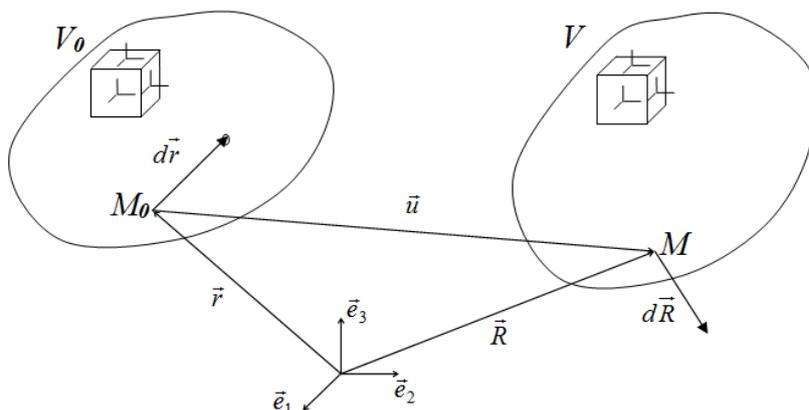


Рис. 1 – Кинематика среды

В глобальной неподвижной системе координат с ортами $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$ положение исследуемого деформируемого тела описывается с помощью:

$\vec{r}(\xi^j) = x^i(\xi^j)\vec{e}_i$ – радиус-вектор материальной частицы в недеформированном состоянии;

$\vec{R}(\xi^j) = y^i(\xi^j)\vec{e}_i$ – радиус-вектор материальной частицы в деформированном состоянии;

$\vec{u}(\xi^j) = \vec{R}(\xi^j) - \vec{r}(\xi^j) = u^i(\xi^j)\vec{e}_i$ – вектор перемещения;

$\vec{v}(\xi^j) = \dot{\vec{R}}(\xi^j) = y^i(\xi^j)\dot{\vec{e}}_i = v^i(\xi^j)\vec{e}_i$ – вектор скорости;

Базовым тензором, играющим ключевую роль в кинематике конечных деформаций, является тензор градиента деформаций:

$$(F) = (\vec{\nabla}_x \vec{R})^T = \frac{\partial y_i}{\partial x_j} (\vec{e}_i \vec{e}_j).$$

В качестве тензоров, описывающих деформацию и скорость деформации используются: левый тензор Коши – Грина (мера деформации Фингера):

$$(B) = (F) \cdot (F)^T$$

тензор пространственного градиента скорости:

$$(h) = (\dot{F}) \cdot (F^{-1});$$

тензор деформации скорости:

$$(d) = \frac{1}{2} [(h) + (h)^T] = \frac{1}{2} [(\dot{F}) \cdot (F^{-1}) + (F^{-1})^T \cdot (\dot{F})^T]$$

Определяющие соотношения

Напряженное состояние описывается с помощью тензора истинных напряжений $(\Sigma) = \sigma_{ij}(\vec{e}_i \vec{e}_j)$, определенного в актуальном состоянии.

В качестве аргументов функции потенциальной энергии деформации примем компоненты тензора меры деформации Фингера, т.е.:

$$W = W(B_{ij})$$

вводятся в рассмотрение меры деформации, которые не сопровождаются изменением объема:

$$(\hat{B}) = J^{-2/3}(B).$$

Здесь $J = dV/dV_0$ – относительное изменение объема

Таким образом:

$$W = W_0(J) + W'(I_{1\hat{B}}, I_{2\hat{B}}).$$

Тогда тензор напряжений Коши-Эйлера будет выражаться в следующем виде:

$$(\Sigma) = \frac{2}{J}(F) \cdot (F)^T \cdot \left(\frac{\partial W}{\partial B} \right) = \frac{2}{J}(B) \cdot \left(\frac{\partial W}{\partial B} \right).$$

Скорости изменения напряжений Коши – Эйлера:

$$(\dot{\Sigma}) = (\Lambda_\Sigma) \cdot (d) + (h) \cdot (\Sigma) + (\Sigma) \cdot (h)^T - (\Sigma) I_{1d},$$

где введено обозначение:

$$(\Lambda_\Sigma) = \frac{4}{J}(B) \cdot \left(\frac{\partial^2 W}{\partial B \partial B} \right) \cdot (B).$$

В результате получаем физическое соотношение для производной Труделла в виде линейного уравнения:

$$(\Sigma^{Tr}) = (\dot{\Sigma}) - (h) \cdot (\Sigma) - (\Sigma) \cdot (h)^T + I_{1d}(\Sigma) = (\Lambda_{\Sigma}) \cdot (d).$$

Таким образом, для гиперупругого тела определяющие соотношения для скоростей имеет вид линейной зависимости при использовании обобщенной производной Трусделла для тензора истинных напряжений Коши – Эйлера и тензора деформации скорости.

Алгоритм расчета

Для решения задачи используется метод последовательных нагружений. Считается, что известно k -ое состояние, по которому нужно найти $(k + 1)$ -ое состояние.

В качестве базового уравнения используется уравнение виртуальных мощностей, записанного для $(k + 1)$ шага:

$$\iiint_{V_{k+1}} ({}^{k+1}\Sigma) \cdot (\delta {}^{k+1}d) dV = \iiint_{V_{k+1}} {}^{k+1}\vec{f} \cdot \delta \vec{v} dV + \iint_{S_{k+1}^{\sigma}} {}^{k+1}\vec{t}_n \cdot \delta \vec{v} dS,$$

где V_{k+1} – текущий объем; S_{k+1}^{σ} – часть его поверхности, на которой заданы усилия;

\vec{f} , \vec{t}_n – векторы массовых и поверхностных сил.

Переходя к приращениям:

$$({}^{k+1}\Sigma) = ({}^k\Sigma) + (\Delta {}^k\Sigma),$$

получим разрешающее уравнение, решение которого дает вектор перемещений для текущего шага $\Delta {}^k\vec{u} = \Delta {}^k x_i \vec{e}_i$, с помощью которого определяется конфигурация следующего шага:

$${}^{k+1}\vec{R} = {}^k\vec{R} + \Delta \vec{u}.$$

Тогда напряженное состояние находится по соотношению: $({}^{k+1}\Sigma) = \frac{2}{J} ({}^{k+1}B) \cdot \left(\frac{\partial W}{\partial {}^{k+1}B} \right)$.

Рассмотрен пример построения физических соотношений для потенциала упругих деформаций Муни – Ривлина:

$$W = U_1(I_{1B} - 3) + U_2(I_{2B} - 3) + \frac{K}{2}(J - 1)^2,$$

где $W_0(J) = \frac{K}{2}(J - 1)^2$, $W'(I_{1B}, I_{2B}) = U_1(I_{1B} - 3) + U_2(I_{2B} - 3)$, U_1, U_2 – постоянные материала.

Тензор напряжений Коши-Эйлера для этого материала имеет вид:

$$(\Sigma) = 2U_1 J^{-\frac{5}{3}} \left[(B) - \frac{1}{3} I_{1B} (I) \right] + 2U_2 J^{-\frac{7}{3}} \left[I_{1B} (B) - \frac{1}{3} I_{1B}^2 (I) - \frac{2}{3} (B^2) \right] + K (J - 1) (I)$$

Линеаризуя полученное соотношение получим выражение для скорости изменения напряжений Коши – Эйлера:

$$(\Delta \Sigma) = (\Lambda_{\Sigma}) \cdot (d) + (h) \cdot (\Sigma) + (\Sigma) \cdot (h)^T - (\Sigma) I_{1d},$$

где

$$(\Lambda_{\Sigma}) = (\Lambda_{\Sigma'}) + (\Lambda_{\sigma_0}), \quad \Lambda_{\Sigma'} = \frac{4}{J} (B) \cdot \left(\frac{\partial^2 W'}{\partial B \partial B} \right), \quad \Lambda_{\sigma_0} = \frac{4}{J} (B) \cdot \left(\frac{\partial^2 W_0}{\partial B \partial B} \right).$$

Таким образом, получена система уравнений для определения напряженного состояния, которая может быть дискретизирована методом конечных элементов для получения численных решений.

Численный пример

Для проверки работоспособности методики был решен ряд задач, рассмотрим одну из них:

Задача об упругом деформировании плиты под действием равномерного давления $q = 85 \text{ МПа}$. Верхнее ребро плиты не имеет вертикального смещения. Плита – квадратная со стороной $a = 0.02 \text{ м}$ и толщиной $h = 0.01 \text{ м}$, $K = 2000 \text{ ГПа}$. На рисунке 2 изображено недеформированное состояние плиты:

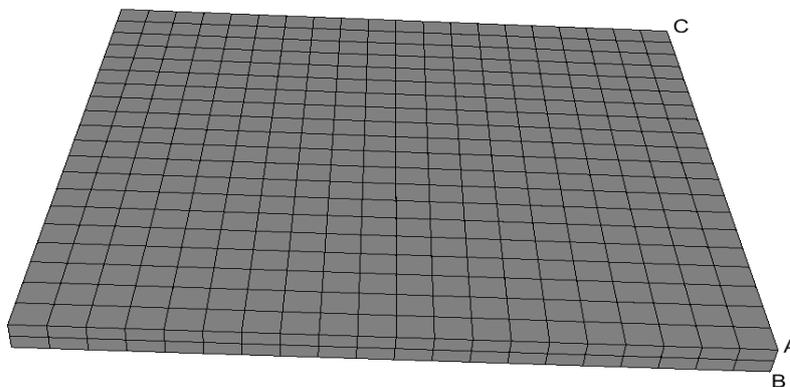


Рис. 2 – Конечно-элементная модель плиты

На рисунках 3, 4 изображено поле вертикальных перемещений и поле касательных напряжений:

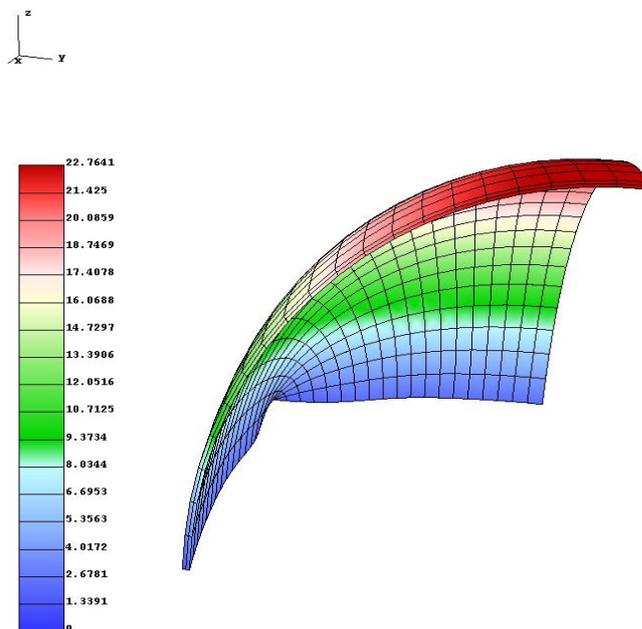


Рис. 3 - Поле вертикальных перемещений плиты

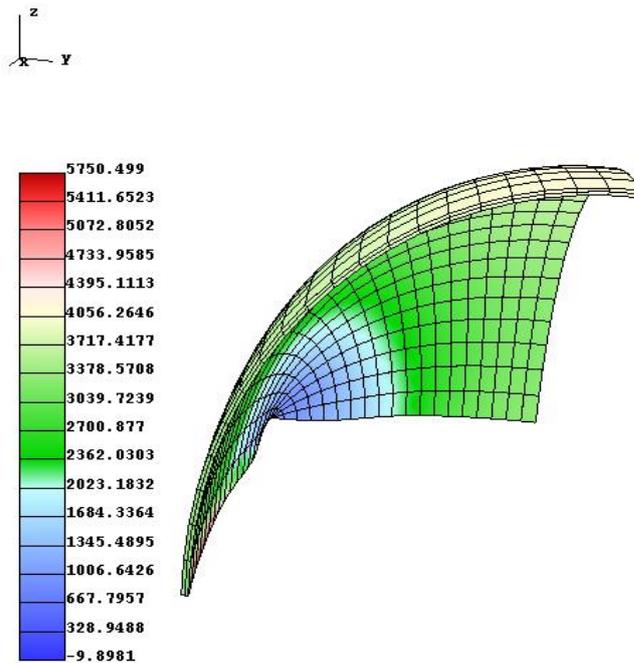


Рис. 4 – Поле касательных напряжений плиты

Таким образом, была построена методика численного исследования гиперупругих слабосжимаемых материалов с использованием меры деформации Фингера, для которых физические соотношения задаются с помощью упругого потенциала. Получены линеаризованные определяющие соотношения и разрешающее уравнение для потенциала Муни – Ривлина. Численная реализация основана на методе конечных элементов на базе восьмиузлового полилинейного элемента. Решенные задачи демонстрируют работоспособность полученной методики исследования нелинейно упругих задач

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №13-01-97058, №13-01-97059, №12-01-00955, №12-01-97026.

Список литературы

1. Голованов А.И., Султанов Л.У. Математические модели вычислительной нелинейной механики деформируемых сред. Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. 465 с.
2. Оден Д. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. М.: Мир, 1976. 464 с.
3. Черных К.Ф. Нелинейная теория упругости в машиностроительных расчетах. Л.: Машиностроение, 1986. 336 с.
4. Грин А., Адкинс Д. Большие упругие деформации и нелинейная механика сплошной среды. М.: Мир, 1965. 455 с.
5. Коробейников С.Н. Нелинейное деформирование твердых тел. Новосибирск, 2000. 262 с.
6. Трусделл К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. М.: Мир, 1975. 592 с.
7. Елисеев В.В. Механика упругих тел. С.-Петербург, СПбГТУ, 1999. 341 с.
8. Bonet J., Wood R.D. Nonlinear continuum mechanics for finite element analysis. 1997. 283 p.
9. Голованов А.И., Султанов Л.У. Теоретические основы вычислительной нелинейной механики деформируемых сред. – Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. – 165 с.
10. Чернышов А.Д. Простые определяющие уравнения для упругой среды при конечных деформациях // Изв. АН МТТ. 1993. № 1. С. 75–81.

11. *Simo J.S., Pister K.S.* Remarks on rate constitutive equations for finite deformation problems: computational implications // *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.*, 1984. V. 46. P. 201–215.
12. *Simo J.S., Ortiz M.* A unified approach to finite deformation elastoplastic analysis based on the use of hyperelastic constitutive equations // *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.*, 1985. V. 49. P. 221–245..
13. *Панов А.Д.* Теория определяющих соотношений при деформировании изотропного твердого тела // *Изв. РАН МТТ*. 2004. № 6. С. 27 – 44.
14. *Голованов А.И., Султанов Л.У.* Исследование закритического упругопластического состояния трехмерных тел с учетом конечных деформаций // *Известия вузов. Авиационная техника*. 2008. №4. - С. 13-16.
15. *Голованов А.И., Коноплев Ю.Г., Султанов Л.У.* Численное исследование конечных деформаций гиперупругих тел. I. Кинематика и вариационные уравнения // *Ученые записки Казанского государственного университета. Серия физико-математические науки*. – 2008. – Т. 150, Кн. 1. – С. 29-37.
16. *Голованов А.И., Коноплев Ю.Г., Султанов Л.У.* Численное исследование конечных деформаций гиперупругих тел. II. Физические соотношения // *Ученые записки Казанского государственного университета. Серия физико-математические науки*. – 2008. – Т. 150, Кн. 3. – С. 122-132.
17. *Голованов А.И., Коноплев Ю.Г., Султанов Л.У.* Численное исследование конечных деформаций гиперупругих тел III. Постановки задачи и алгоритмы решения // *Ученые записки Казанского государственного университета. Серия физико-математические науки*. – 2009. – Т. 151, Кн. 3. – С. 108-120.
18. *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, Кн. 4. – С. 115–126.
19. *Давыдов Р.Л., Султанов Л.У.* Численный алгоритм решения задачи о больших упругопластических деформациях МКЭ // *Вестник ПНИПУ. Механика*. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – №1. С. 81-93.
20. *Султанов Л.У., Давыдов Р.Л.* Численное исследование больших деформаций методом конечных элементов // *Инженерно-строительный журнал – Санкт-Петербург: СПбГУ*, 2013. – № 9(44). – С. 64–68.
21. *Голованов А.И., Коноплев Ю.Г., Кузнецов С.А., Султанов Л.У.* Численное моделирование больших деформаций неупругих трехмерных тел // *Наукоёмкие технологии*. 2004. №4. Т. 5. – С. 52-60.
22. *Голованов А.И., Султанов Л.У.* Численное исследование больших упругопластических деформаций трехмерных тел // *Прикладная механика*. Киев. 2005. №6. Т. 41. С. 36-43.

01.01.02

¹Е.А. Черноиванова, ²П.А. Шаманаев

¹Саранский кооперативный институт (филиал),
кафедра информационных технологий и математики,
Саранск, elen.chernoivanova@yandex.ru

²Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарёва,
факультет математики и информационных технологий, кафедра прикладной математики,
дифференциальных уравнений и теоретической механики,
Саранск, korspa@yandex.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ И АСИМПТОТИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

В статье решается проблема классификации дифференциальных уравнений на основе асимптотических свойств решений, кроме того, исследуются дифференциально-функциональные уравнения, для которых уравнениями сравнения являются обыкновенные дифференциальные уравнения.

Ключевые слова: *дифференциальные уравнения, дифференциально-функциональные уравнения, асимптотические свойства решений.*

Классификация дифференциальных уравнений на основе асимптотических свойств решений – методологическая основа многих асимптотических методов интегрирования [1-3]. В негладком анализе такую основу имеют все асимптотические методы. Выбор отношения эквивалентности уравнения сравнения – главные задачи, решение которых на определенном классе уравнений составляет суть конкретного асимптотического метода. Однако большинство работ (особенно в негладком анализе) по классификациям относится к классам уравнений, которые в качестве фазового пространства имеют множество $D = [T_0, +\infty) \times R^n, T_0 \in R$.

Если же уравнения определены на подмножествах множества D , то обычные методы выбора уравнения сравнения здесь непригодны [4]. В данной статье решается эта проблема, кроме того, здесь исследуются дифференциально-функциональные уравнения, для которых уравнениями сравнения являются обыкновенные дифференциальные уравнения [5].

Пусть дифференциально-функциональное уравнение имеет вид

$$dy/dt = f(t, y, \varphi(t, y, \varepsilon), \varepsilon) + g(t, y, A_t y, \varphi(t, y, \varepsilon), \varepsilon), \quad (1)$$

где

$$A_t: C([T_0, +\infty), R^n) \rightarrow D_m, D_m \subseteq R^m, t \geq t_0,$$

$$f \in C([T_0, +\infty) \times D \times S_c \times (0, \varepsilon_0], R^n),$$

$g \in K([T_0, +\infty) \times D, D_m, S_c \times (0, \varepsilon_0], R^n)$ – класс функций, измеримых по t и непрерывных по остальным аргументам, D – область,

$$D \subseteq R^n, \quad S = \{z: z \in R^{m_0}, \|z\| \leq C, 0 < C < +\infty\},$$

$$\varphi \in C^{(1,0,0)}([T_0, +\infty) \times (0, \varepsilon_0], S_c);$$

$\lambda_*(\gamma, \varepsilon) = \lim_{k \rightarrow +\infty} \varphi(t_k, \gamma, \varepsilon)$ для некоторой последовательности $\{t_k\}$, $t_k \rightarrow +\infty$ при $k \rightarrow +\infty$ и всех $\gamma \in R^n$,

при всех $T_0 \leq t < +\infty, u \in R^n, 0 < \varepsilon < \varepsilon_0$ существуют ненулевые частные производные $f_y, f_\lambda(\lambda = \varphi(t, y, \varepsilon))$, локально удовлетворяющие условию Липшица. При $C = +\infty$, $\lambda_*(\gamma, \varepsilon) = \infty$ будем считать, что $\lim_{k \rightarrow +\infty} f(t, y, \varphi(t_k, \gamma, \varepsilon), \varepsilon) = f_1(t, \gamma, \varepsilon), f_1 \in C([T_0, +\infty) \times D \times (0, \varepsilon_0], R^n)$,

$$f(t, y, \lambda_*(\gamma, \varepsilon), \varepsilon) \stackrel{\text{def}}{=} f_1(t, y, \varepsilon), T_0 \leq t < +\infty, \quad \gamma, y \in R^n, 0 < \varepsilon \leq \varepsilon_0.$$

Требуется на множестве $T_0 \leq \tau \leq t < +\infty$ точностью ε_1 найти решение

$y(t) = y(t; \tau, \gamma, \varepsilon)$ уравнения (1) при всех достаточно малых ε . Считая функции g, φ в некотором смысле малыми, будем уравнение

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x, \lambda_*(\gamma, \varepsilon), \varepsilon) \quad (2)$$

рассматривать в качестве уравнения сравнения. В эту схему укладывается классический метод усреднения. Более того, рассматривая для конкретного уравнения различные представления вида (1), можно получать различные уравнения сравнения и появляется возможность выбора простейшего из них. Будем считать, что в дальнейшем все выше перечисленные условия для уравнений (1) и (2) всегда выполняются.

В зависимости от выбора оператора A уравнение (1) может быть либо уравнением с запаздывающим аргументом, либо каким-нибудь другим дифференциально-функциональным уравнением. Например, уравнение (1) может иметь вид:

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y, \varphi(t, y, \varepsilon), \varepsilon) + g(t, y, y(t - t_0), \varphi(t, y, \varepsilon), \varepsilon),$$

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y, \varphi(t, y, \varepsilon), \varepsilon) + g\left(t, y, \int_0^t G(t, s)y(s)ds, \varphi(t, y, \varepsilon), \varepsilon\right).$$

Будем говорить, что уравнения (1) и (2) на множестве $\Omega \subseteq D$ асимптотически эквивалентны относительно решений (P) , определенных при достаточно малом ε_0 и всех ε , $0 < \varepsilon \leq \varepsilon_0$ при $t \geq \tau$, принадлежащих множеству Ω , если для каждого решения из (P) уравнения (1) при достаточно малом ε_0 и при всех ε , $0 < \varepsilon \leq \varepsilon_0$, найдется решение из (P) уравнения (2) такое, что разность между ними стремится к нулю при неограниченном возрастании независимой переменной t , и, наоборот: для каждого решения из (P) уравнения (2) при достаточно малом ε_0 и всех $0 < \varepsilon \leq \varepsilon_0$ найдется решение из (P) уравнения (1) такое, что выполняется то же асимптотическое соотношение. В качестве решений (P) уравнений (1) и (2) будем рассматривать решения $z(t)$, $t \geq \tau$ такие, для которых существуют такие числа $\alpha > 0$, зависящие от решения $z(t)$, что множество $\{z: \|z - z(t)\| \leq \alpha\} \subset \Omega$ при всех $t \geq \tau$ и всех ε , $0 < \varepsilon \leq \varepsilon_0$, при достаточно малом ε_0 .

К первоначальной задаче добавим задачу об асимптотической эквивалентности уравнений (1) и (2) на множестве Ω .

Для решения этих задач понадобится вспомогательное уравнение

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x, \varphi(\tau, \gamma, \varepsilon), \varepsilon),$$

определенное при значениях параметров, принадлежащих вышеуказанным множествам.

Пусть $x(t) = x(t; \tau, \gamma, \lambda^*, \varepsilon)$ – решение уравнения (2),

$$x(t; \tau, \gamma, \lambda^*, \varepsilon) = \gamma,$$

$y(t)$ – решение уравнения (1),

$x_T(t) = x(t; T, y_T(T), \varphi(T, y_T(T), \varepsilon), \varepsilon)$ – решение уравнения (2),

$y_T(T) = x(T; \tau, \gamma, \lambda^*, \varepsilon) = x(T, \lambda^*)$, $T \geq \tau \geq T_0$, $x(t; \tau, \gamma, \varphi(\tau, \gamma, \varepsilon), \varepsilon)$ – решение уравнения (3).

Будем говорить, что выполняется условие (A) , если:

A_1 . Для любой ограниченной функции $u \in C([T_0, +\infty), R^n)$ оператор $A_t(y)$ непрерывен по t , $t \in [\tau, +\infty)$;

A_2 . Для любого $\varepsilon > 0$, для всех τ_1 существует $\delta = \delta(\varepsilon, \tau_1) > 0$ такое, что как только $z_1, z_2 \in \mathcal{S}$, \mathcal{S} – подмножество ограниченных вектор-функций из $C([T_0, +\infty), R^n)$, $\|z_1 - z_2\| < \delta$, неравенство $\|A_t z_1 - A_t z_2\| < \varepsilon$ справедливо для всех $t \in [\tau, \tau_1]$.

Будем говорить, что выполняется условие (B) , если для произвольных $t_0 \geq \tau$, $0 < \varepsilon \leq \varepsilon_0$ и для произвольного $x_0 \in \Omega$ решение $x(t; t_0, x_0, \varphi(\tau, \gamma, \varepsilon), \varepsilon)$ существует для всех $t \in [\tau, t_0]$ и имеет значения в D .

Будем говорить, что выполняется условие (C) , если для любой непрерывной функции $z(t)$ со значениями в Ω при $t \geq \tau$

$$\int_{\tau}^{+\infty} \|H_1(t, s, z(s), \varepsilon)\| ds \leq I(t, \varepsilon), \quad I(t, \varepsilon) \rightarrow 0 \text{ при } t \rightarrow +\infty \text{ и}$$

$$I(t, \varepsilon) \rightarrow 0 \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0 \text{ равномерно по } t.$$

Не умаляя общности, предположим, что $I(t, \varepsilon)$ непрерывная по совокупности t, ε и невозрастающая по каждой из переменных функция.

Теорема. При условиях (A), (B), (C) уравнения (1) и (2) асимптотически эквивалентны на множестве Ω относительно множества решений (P), если для любого решения $x(t) \in (P)$ и любого $0 < \varepsilon \leq \varepsilon_0$

$$\lim_{T \rightarrow +\infty} \sup \|x(t: T, y_T(T), \varphi(T, \gamma, \varepsilon), \varepsilon) - x(t: \tau, \gamma, \lambda^*, \varepsilon)\| = 0.$$

Доказательство теоремы проводится на основании принципов Шаудера и Арцела. Рассматривается множество

$$D_T = \{z \in S, z(t) \in \Omega: \|z(t) - x_T(t)\| \leq d, \tau \leq t \leq T\}$$

и оператор

$$L: D_T \rightarrow S,$$

$$Lz(t) = \begin{cases} x_T(t) - \int_t^T H_1(t, s, z(s), \varepsilon) ds, & \tau \leq t \leq T, \\ x_T(t), & t > T. \end{cases}$$

Для этого оператора доказывается существование неподвижной точки

$$z_T(t) = x_T(t) - \int_t^T H_1(t, s, z_T(s), \varepsilon) ds,$$

то есть

$$Lz_T(t) = z_T(t),$$

и $z_T(t), \tau \leq t \leq T$, удовлетворяет уравнению (1). Легко заметить, что D_T выпуклое, ограниченное и замкнутое подмножество S . Оператор L имеет неподвижную точку в D_T , то есть выполняются условия:

1. $LD_T \subseteq D_T$,
2. L – непрерывен,
3. LD_T – компактное множество в S .

На основании принципа Шаудера существование неподвижной точки доказано. На основании принципа Арцела LD_T – компактное множество.

Так же показывается, что $z_T(t), \tau \leq t \leq T$, удовлетворяет уравнению (1).

Список литературы

1. Рашевский Н.А., Рашевская Н.В. Об асимптотических решениях систем дифференциально-функциональных уравнений // Приволжский научный вестник. - 2013. – Т. 25, № 9. - С. 5-8.
2. Катхим А.Х., Эфендиев А.Р. О краевой задаче дифференциально-функциональных уравнений // Вестник Дагестанского государственного университета. - 2012. - № 6. - С. 93-100.
3. Пелюх Г.П. О структуре множества непрерывно-дифференцируемых решений систем дифференциально-функциональных уравнений в окрестности особой точки // Дифференциальные уравнения. - 2007. - Т. 43, № 3. - С. 318-323.
4. Воскресенский Е.В. Методы сравнения в нелинейном анализе. – Саранск: изд-во Сарат. ун-та, Саран. Фил., 1990. - 224 с.
5. Черноиванова Е.А. Асимптотическая эквивалентность дифференциальных и дифференциально-функциональных уравнений // Журнал Средневолжского математического общества. - 2014. - Т. 16, № 1. - С. 156-159.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.01

В.Н. Авдащенко, Я.А. Васина, Ю.А. Стринадкина, С.В. КузнецовБрянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского,
г. Брянск, 19vladimir86@mail.ru**СИНТЕЗ ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ**

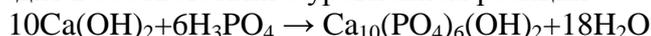
Изучены некоторые свойства гидроксиапатита, полученного методом осаждения из щелочного раствора: термическая устойчивость, точка нулевого заряда (pH_0), растворимость в средах с различной кислотностью.

Ключевые слова и словосочетания: *адсорбция, гидроксиапатит, точка нулевого заряда, растворимость, спекаемость.*

Высокий интерес к гидроксиапатиту (ГАП) связан не только с его использованием в заместительной и восстановительной хирургии, но и со сложностью самого объекта исследования [1]. Анализ литературных данных показал, что основное внимание в исследованиях, посвященных гидроксиапатиту, уделяется методам его получения, фазовому и размерному строению, созданию органоинеральных комплексов на основе ГАП [2-9]. Также проводятся исследования по адсорбции белков, управляющих процессами вживления имплантата в костную ткань [10]. Но практически отсутствуют работы по изучению растворимости гидроксиапатита в зависимости от pH среды, а также по исследованию двойного электрического слоя (ДЭС), типа поверхностных групп и зависимости их изменения от состава среды, pH раствора, присутствия в решетке гидроксиапатита других ионов. Такие исследования важны, поскольку растворимость материала определяет возможность его использования в тех или иных средах, а строение ДЭС и его параметры определяют адсорбционные взаимодействия, а также скорость замещения, обмена ионами кальция и фосфат-ионами между костной тканью и гидроксиапатитом.

Методика эксперимента.

Для синтеза гидроксиапатита был выбран метод осаждения из щелочного раствора. В качестве кальцийсодержащего реагента использовался насыщенный раствор гидроксида кальция, в качестве фосфатсодержащего реагента – раствор ортофосфорной кислоты с массовой долей H_3PO_4 1,5%. Подробно методика синтеза описана в [11]. Образование гидроксиапатита происходит в соответствии с уравнением реакции



Так как основная часть гидроксиапатита используется для изготовления биокерамики путем спекания, то важными являются исследования его фазового и элементного состава в зависимости от термической обработки. Прокаливание образцов проводили при температурах 200, 800, 1000, 1350°C в трубчатой печи с контролем температуры по платино-платино-родиевой термопаре.

Идентификацию синтезированных и отожженных образцов производили с помощью методов рентгено-дифракционного анализа, рентгено-флюоресцентного анализа и ИК-спектроскопии. Дифракционный спектр получали с использованием рентгено-флюоресцентного спектрометра СУР-01 «Реном». Спектр снимался в интервале 25° - 55°, с шагом 0,01° и временем экспозиции 2 с.

Для анализа методом ИК-спектроскопии использовали ИК-Фурье спектрометр ФСМ-1201. Синтезированный гидроксиапатит растирался в агатовой ступке с добавлением масла, спектр

полученной суспензии снимался относительно этого же масла. В качестве кювет использовались стекла из KBr, измеряемый интервал – 500-1300 см^{-1} .

Для установления рН нулевого заряда поверхности синтезированного гидроксиапатита стандартные навески синтезированных образцов ($0,05 \pm 0,0003\text{г}$) всыпали в растворы с содержанием хлорида натрия, соответствующим физиологическому раствору, с различным начальным значением кислотности (рН=6,5; 7,7; 8,5). С использованием иономера «Мультитест ИПЛ-112» записывалась зависимость рН от времени. В данном методе смещение рН происходит в сторону рН нулевого заряда поверхности, что позволяет приблизительно установить его значение. Для изучения влияния реакции среды раствора на растворимость навески гидроксиапатита массой 200 мг помещались в растворы объемом 100 мл со значениями рН от 2 до 12 с шагом 0,5. Растворы выдерживались в течение суток. После этого с использованием иономера «Мультитест ИПЛ-112» измерялось значение концентрации ионов кальция в каждом растворе (электрод – ЭЛИС-121Са). Значения рН растворов в обоих экспериментах задавались добавлением концентрированной азотной кислоты или насыщенного раствора гидроксида натрия, все растворы готовили на бидистиллированной воде, значения рН растворов устанавливали с использованием рН-метра «Мультитест ИПЛ-112» (электрод ЭСК 10-603рН). Используемые в работе реактивы имеют квалификацию не ниже «хч».

Результаты и их обсуждение.

Характерные инфракрасные спектры представлены на рис. 1.

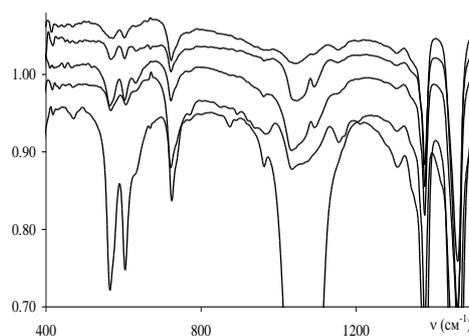


Рис. 1 – Инфракрасные спектры образцов гидроксиапатита (по шкале пропускания смещены). Снизу вверх: синтезированный образец при 20°C; прокален при 200°C; прокален при 800°C; прокален при 1000°C; прокален при 1350°C.

Из полученных спектров установлено, что образцы, начиная с исходного и до 800°C включительно, имеют характеристические области поглощения для связей гидроксильных групп с кальцием (560, 610) и связей фосфор-кислород (1040, 1100) [12]. С увеличением температуры отжига более 800°C происходит изменение формы пиков: уширение и смещение относительно исходных частот, что говорит о появлении новых соединений.

На рис. 2 представлены рентгенограммы исходного и прокаленных образцов.

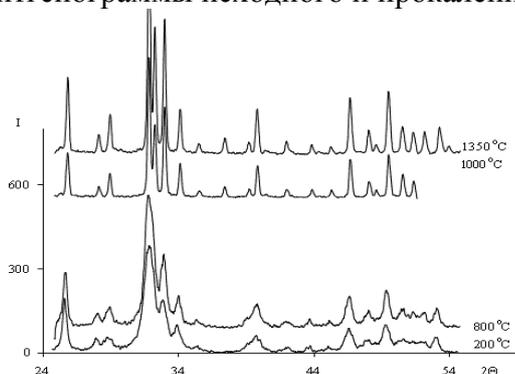
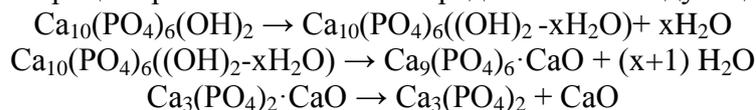


Рис. 2 – Рентгенограммы образцов, прокаленных при различных температурах. Температура указана рядом с рентгенограммой.

Частоты пиков для образцов, отожженных при температуре более 800°C, характерны для ортофосфата кальция. Процесс разложения можно представить в следующем виде:



Подобная схема приводится в [1], но температура указывается 1200°C.

Кроме того, при температуре выше 800°C происходит перестройка кристаллической решетки гидроксиапатита, о чем говорит разрешение наиболее интенсивного пика в районе 32°. Появившийся пик соответствует пику с дифрактограммы оксида кальция, что подтверждает процесс частичного разложения исследуемых образцов гидроксиапатита в соответствии указанными выше уравнениями реакций.

С использованием уравнения Шеррера-Селякова оценены размеры областей когерентного рассеивания (ОКР) по уширению двух пиков с учетом аппаратной функции [13]. В качестве эталона использован образец, отожженный при температуре 1350°C. Оцененное изменение размеров ОКР (рис. 3) имеет резкий рост после температуры 800°C, достигая значения 300 нм для температуры 1350°C.

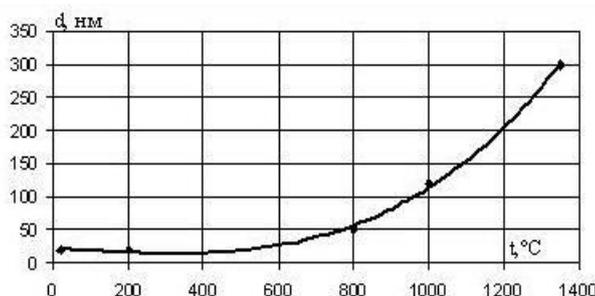


Рис. 3 – Зависимость размеров ОКР от температуры прокаливания.

Таким образом, выявлено, что прокаливание образцов до 800°C повышает степень кристалличности и не приводит к заметным изменениям структуры и состава гидроксиапатита. При температуре выше 800°C происходит перестройка кристаллической решетки, а также изменение состава, о чем свидетельствует появление новых пиков на рентгенограммах.

Экспериментальная работа по установлению значения точки нулевого заряда показала, что поверхность синтезированного гидроксиапатита имеет значение pH_0 около 7,1.

Используя навески гидроксиапатита с известной массой и считая, что ион Ca^{2+} переходит в раствор из гидроксиапатита, можно рассчитать его растворимость. Зависимость растворимости (г/л) гидроксиапатита от pH раствора представлена на рис. 4.

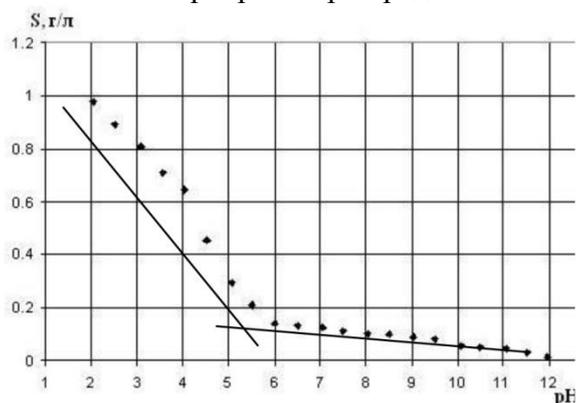


Рис. 4 – Зависимость растворимости от pH раствора (точки – экспериментальные данные, линии – аппроксимирующие кривые).

Анализ полученных данных показал, что понижение значения pH раствора способствует увеличению концентрации ионов кальция. Следовательно, растворимость гидроксиапатита возрастает при повышении кислотности. Причем, резкое нарастание растворимости наблюдается при достижении $\text{pH}=6$.

Выводы.

Проведено исследование влияния температурной обработки на степень кристалличности и состав гидроксиапатита. Выявлено, что прокаливание при 800°C способствует повышению степени кристалличности. Нагревание выше этой температуры вызывает разложению гидроксиапатита с образованием ортофосфата кальция и оксида кальция.

Определено значение рН нулевого заряда синтезированного образца. Получено значение pH_0 около 7,1.

Изучено влияние кислотности раствора на растворимость гидроксиапатита. Выявлено, что при $pH < 6$ растворимость гидроксиапатита резко возрастает. В растворах со значением $pH > 6$ гидроксиапатит достаточно устойчив.

Работа выполнена при поддержке гранта губернатора Брянской области молодым ученым региона.

Список литературы

1. *Баринов С.М., Комлев В.С.* Биокерамика на основе фосфатов кальция. – М.: Наука, 2005;
2. *Т.И. Гузеева, В.В. Гузеев, Л.А. Леонова, О.А. Лелюк, А.С. Крикуненко, Ю.В. Шатохина.* Получение порошка гидроксилапатита в ходе жидкофазного синтеза. // Известия Томского политехнического университета, 2009. Т. 315, № 3. – С. 47-50;
3. *Орловский В.П., Суханова Г.Е., Ежова Ж.А., Родичева Г.В.* Гидроксиапатитная биокерамика // Ж. Всес. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева, 1991. Т. 36, № 10. – С. 683-690;
4. *Третьяков Ю.Д.* Развитие неорганической химии как фундаментальной основы создания новых поколений функциональных материалов // Успехи химии, 2004. Т. 73, № 9. – С. 899-916;
5. *Вересов А.Г., Путляев В.И., Третьяков Ю.Д.* Достижения в области кальцийфосфатных биоматериалов // Российский химический журнал, 2000. Т. XLIV, №6 (ч.2). – С. 32-46;
6. *Швед С.И.* Кальцийфосфатные материалы в биологических средах // Успехи современной биологии, 1995. Т. 115, №1. – С. 58-73;
7. *Hench L.L.* Bioceramics: from concept to clinic // J. Amer. Ceram. Soc., 1991. V. 74, № 7. – P. 1487—1510;
8. *Yoshimura M., Suda H.* Hydrothermal processing of hydroxyapatite: past, present and future // in: Hydroxyapatite and related materials, P.W. Brown, B. Constantz editors, 1994. CRC Press Inc. – P. 45-72;
9. *Чайкина М. В.* Механохимия природных и синтетических апатитов. Новосибирск: ГЕО, 2002;
10. *Elliott C.* Structure and Chemistry of Apatite and Other Calcium Orthophosphates. – Amsterdam etc.: Elsevier, 1994;
11. *В.Н. Авдащенко, Я.А. Васина, В.В. Веретёхин, И.И. Заморкин, Ю.А. Стринадкина, С.В. Кузнецов.* Исследование термической устойчивости и точки нулевого заряда поверхности гидроксилапатита // Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований за 2012 г. – Брянск: РИО Брянского государственного университета, 2012;
12. *Накамото К.* ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1991г. – 536с.;
13. Рентгенография в физическом металловедении. Под ред. Ю.А. Багаряцкого. – М.: Metallurgizdat, 1961г. – 368с.

02.00.10

**¹О.И. Бахирева, ¹А.Е. Пластинина, ²А.А. Циппер, ³М.А. Шишкин,
⁴А.В. Басов, ⁵С.А. Иларионов, ¹В.Н. Басов**

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, химико-технологический факультет, кафедра химии и биотехнологии, Пермь, bahirevy@mail.ru

²ООО «Межрегиональный центр биологических и химических технологий», Пермь

³Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО АН РФ,
аналитическая лаборатория, Пермь

⁴Пермская государственная фармацевтическая академия, кафедра аналитической химии,
Пермь, basov81@mail.ru

⁵Пермский государственный национальный исследовательский университет,
химический факультет, кафедра аналитической химии, Пермь

СОПРЯЖЕННЫЙ МЕТОД ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В работе представлены результаты исследования возможности обезвреживания избыточного активного ила сопряженным методом. Изучены закономерности процессов дезодорации избыточного активного ила с применением фермента пероксидазы и снижения содержания ионов тяжелых металлов с использованием глауконита. Оценку токсичности проб проводили с использованием измерительного прибора «Биотокс-10» и тест-объекта «Эколюм». Показано что сопряженный метод является эффективным и значительно понижает токсичность образцов.

Ключевые слова: Избыточный активный ил, фермент пероксидаза, иммобилизация, глауконит, дезодорация, снижение токсичности, сопряженный метод.

При очистке стоков на биологических очистных сооружениях образуется осадок, под размещение которого отчуждаются обширные территории со специально оборудованными площадками.

Изученный вид отхода – активный ил из илоуплотнителя с высокой влажностью и содержанием органических (до 80%) и минеральных (до 20%) компонентов. В нем также присутствуют патогенные организмы, алифатические соединения, эфиры, фенолы и т.д.[1]

Разработаны различные способы обезвреживания и утилизации избыточного активного ила (ИАИ). Все способы обычно разделяют на термические, химические, физико-химические и биологические.[2,3]

Термические методы представлены, в основном, пиролизом. Недостатки технологии заключаются в увеличении нагрузки на атмосферный воздух за счет продуктов сгорания. При внедрении данной технологии необходимо увеличивать степень обезвоживания илов.

Химические методы обезвреживания ИАИ заключаются в добавлении к осадку химических реагентов. В рассматриваемом случае химические методы способствуют образованию более сложных токсичных соединений.

Применяемые в настоящее время физико-химические и биологические методы являются чувствительными к составу разлагаемых отходов и условиям окружающей среды, что затрудняет их использование.

Анализ перечисленных методов выявил, что для решения проблемы обезвреживания ИАИ необходимо разработать технологию, которая будет являться комбинацией нескольких методов.

Установили, что для дезодорации ИАИ и снижения его токсичности перспективно использование как сорбентов, так и ферментативных реакций.[3,4] Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать закономерности процесса дезодорации ИАИ с применением фермента пероксидазы.

2. Исследовать закономерности снижения содержания тяжелых металлов в ИАИ с использованием глауконита.

3. Исследовать сопряженный процесс снижения токсичности ИАИ и его дезодорации.

Глауконит был выбран из-за высокой сорбционной способности и развитой поверхности, что, как предполагалось, обязательно будет влиять на сорбцию загрязнителей.[3] Пероксидаза хрена катализирует окисление большинства органических веществ.[4]

Как указано ранее, разработка способов дезодорации дурнопахнущего ИАИ является актуальной. Так как органолептический метод оценки эффективности дезодорации является субъективным, для инструментальной оценки присутствия дурнопахнущих соединений в анализируемой пробе использовали методы хромато-масс-спектрометрии и газовой хроматографии.

Хромато-масс-спектрометрия выявила перечень веществ в пробе, отвечающих за запах. Хромато-масс-спектры этих соединений могут быть использованы для оценки эффективности дезодорации.

Учитывая, что метод хромато-масс-спектрометрии достаточно сложен для оперативного анализа, исследовали возможность применения для оценки эффективности дезодорации метода газовой хроматографии. Исследуя хроматограммы экстракта ИАИ до и после дезодорации, выявили параметры удерживания дурнопахнущих соединений.

Этот инструментальный метод в дальнейших исследованиях применяли для оценки эффективности дезодорации ИАИ.

Исследовали воздействие активного фермента пероксидазы на дезодорацию ИАИ. Активный фермент выделяли из корней хрена путем его экстрагирования в 5% раствор CaCl_2 . Как известно из литературных данных, пероксидаза наиболее активна при $\text{pH}=6-8$. [4] Для поддержания этого показателя среды в эксперименте использовали 1% раствор карбоната натрия.

Дезодорация ИАИ завершается через 14 суток, что позволяет рекомендовать этот способ для использования на иловых площадках.

Представляло интерес оценить обезвреживание ИАИ иммобилизованном на глауконите ферментом пероксидазы. Иммобилизацию пероксидазы проводили физическим методом, путем обработки глауконита экстрактом фермента с последующим перемешивании смеси в течение 1 часа. Обработанный таким образом глауконит оставляли на сутки, а затем проводили центрифугирование и сушку на воздухе.

Иммобилизованный на глауконите фермент добавляли в пробу активного ила для последующего определения эффективности дезодорации, содержания тяжелых металлов и токсичности. При этом ИАИ смешивали с иммобилизованным на глауконите ферментом в соотношении 5 частей композита на 100 частей ИАИ, перемешивали аэрацией в течение 1 часа и разделяли твердую и водную фазы центрифугированием. Исследованию подвергалась водная фаза. Анализ металлов проводили с использованием эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой. Результаты экспериментов по снижению содержания металлов приведены в таблице.

Таблица - Эффективность обезвреживания ИАИ

Металл	Начальное содержание металла, мг/г	Содержание металла после обработки, мг/г
Алюминий	13.77	≤ 0.01
Хром	0.37	≤ 0.01
Медь	0.28	≤ 0.01
Марганец	0.34	≤ 0.01
Свинец	0.04	≤ 0.01
Олово	7.74	≤ 0.01
Цинк	0.62	≤ 0.01

Для оценки токсичности проб использовали измерительный прибор «Биотокс-10» и тест-объект «Эколюм».

Токсичность образцов составила:

- Токсичность ИАИ Т=62.37. Образец очень токсичен.

- Токсичность ИАИ после обработки глауконитом Т=36. 38. Образец токсичен.

- Токсичность ИАИ после обработки иммобилизованным на глауконите ферментом Т=8.31. Образец не токсичен.

Полученные результаты обезвреживания ИАИ позволяют сделать заключение о целесообразности использования предлагаемого сопряженного метода для дезодорации и снижения токсичности ИАИ.

Список литературы

1. Лукашевич О.Д., Барская И.В. Экологические проблемы обработки и утилизации активных илов и осадков сточных вод. // Экология промышленного производства – 2007. - №3. - С. 68-75.
2. Гвоздев В.Д., Ксенофонтов Б.С. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков. М.: Химия, 1988. – 107с.
3. Басов А.В., Бахирева О.И., Басов В.Н. Способ получения минерального композита. // Патент России RU 2517226 С1, 2014. Бюл. №15.
4. Захарова Г.С., Упоров И.В., Тишков В.И. Пероксидаза из корней хрена: моделирование свойств химической модификацией белковой глобулы и гемма. // Успехи биологической химии – 2001.- т.51. – С. 36-64

02.00.10

¹О.И. Бахирева, ¹Ю.А. Попова, ²А.А. Циппер, ³А.В. Басов, ⁴С.А. Иларионов, ¹В.Н. Басов¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, химико-технологический факультет, кафедра химии и биотехнологии, Пермь, bahirevy@mail.ru²ООО «Межрегиональный центр биологических и химических технологий», Пермь³Пермская государственная фармацевтическая академия, кафедра аналитической химии, Пермь, basov81@mail.ru⁴Пермский государственный национальный исследовательский университет, химический факультет, кафедра аналитической химии, Пермь

СОРБЦИОННО–ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В работе представлены результаты изучения очистки сточной воды от ионов тяжелых металлов и фенола при их совместном присутствии сопряженным методом. Установлена возможность использования для этой цели фермента пероксидазы, выделенного из корней хрена, способного окислять фенол. Имобилизация его на глауконите с добавлением перекиси водорода для ускорения реакции позволяют проводить эффективную очистку до уровня ПДК.

Ключевые слова: *ионы тяжелых металлов, фенол, глауконит, пероксидаза, ферментативное окисление, иммобилизация.*

В настоящее время одним из актуальных направлений охраны окружающей среды является исследование последствий загрязнения объектов различными химическими веществами. Загрязнение воды обуславливает подавление функций экосистем, замедляет процессы естественной очистки пресных вод, а также способствует изменению химического состава пищи и организма человека.

В связи с указанным, разработка эффективных способов очистки сточных вод является актуальной. Наиболее часто используются операции, заключающиеся в удалении или снижении содержания загрязнителей механическим, химическим или биологическим способами.[1]

Исследование выполнялось на примере обезвреживания сточных вод одного из предприятий электронной промышленности, содержащих в своем составе тяжелые металлы и фенол.

Наиболее часто для очистки сточных вод от ионов металлов используются сорбционные методы. Одним из перспективных сорбентов является природный минерал глауконит, обладающий комплексом уникальных свойств. Благодаря особенностям кристаллической структуры глауконита при совмещении его с очищаемой жидкостью происходит хемосорбционное поглощение загрязнителей золь-гелевой фазой и полидисперсной минеральной матрицей в состав которых входят дисперсные частицы диаметром 0.0001 – 0.001 мм.[2] Глауконит способен эффективно сорбировать ионы тяжелых металлов из растворов. [3,4] Исходя из анализа литературных данных посчитали эффективным решением использование глауконита для сорбции ионов тяжелых металлов.

Для очистки сточных вод от фенолов также применяют сорбционные методы. В качестве сорбентов применяют активированный уголь, золу, шламы, генераторную пыль, глауконит и др.

Активированный уголь способен фенолы в количестве 20-30 г на 1 кг собственной массы. Однако срок службы активированного угля непродолжителен, а его регенерация известную сложность. Все это делает метод дорогостоящим и поэтому на практике его применяют редко. [5]

Сорбция фенолов на золе и шламе возможна в целях доочистки. Сорбционная способность золы по фенолам зависит от ее происхождения. Так, торфяная зола способна сорбировать 1 г фенола на 1 кг собственной массы, зола бурого угля – 160 мг/кг. В этом случае производят сброс сточной воды на золоотвалы или используют очищаемые воды для смыва и транспортировки золы и шлама от котельных.

Биологическую очистку промышленных сточных вод от фенолов выполняют на биофильтрах или аэротенках. Эффективность биологической очистки достигает 80-90% при концентрациях загрязнителя не выше 50 мг/дм³.

Химический метод очистки сточных вод заключается в обработке сильными окислителями – хлором, озоном и др. При обеспечении 30 минутного контакта с хлором метод дает практически полную очистку от фенолов. Недостатком метода является образование токсичных хлор-органических соединений. [1]

Известно, что фермент пероксидаза разлагает фенольные соединения. [6]

Представляет интерес оценить возможность использования фермента пероксидазы для очистки сточных вод от фенола.

Для получения экстракта фермента протертые корни хрена растирали в ступке с небольшим количеством калий-фосфатного буферного раствора (рН=6.6), добавляли дополнительно буферный раствор, тщательно перемешивали в течение 10 минут а затем фильтровали.

Провели исследования по оценке процесса ферментативного окисления фенола пероксидазой и установили временные рамки протекания реакции. Концентрацию загрязнителя измеряли фотометрически по реакции образования комплекса фенола с 4-аминоантипирином в присутствии гексацианоферрата (III). [7] Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Измерение концентрации фенола в зависимости от времени протекания реакции (n=3, α=0.95)

Время	Начало реакции	1 сутки	3 суток	5 суток	7 суток
Концентрация фенола в растворе, мг/дм ³	0.50	0.32 ± 0.07	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	5.00	4.24 ± 0.13	1.63 ± 0.08	0.18 ± 0.04	< 0.01

Как видно для эффективной очистки необходимо чтобы время взаимодействия загрязнителя с экстрактом фермента превышало 7 суток.

Для ускорения процесса обезвреживания фенола было учтено, что фермент катализирует окислительно-восстановительную реакцию в присутствии пероксида водорода, который выступает в качестве акцептора электронов. [6] Установили, что в этом случае реакция завершается через 2 часа.

Исследовали сопряженный метод очистки сточной воды от ионов тяжелых металлов и фенола при их совместном присутствии. Для этого проводили иммобилизацию пероксидазы на глауконите. При этом экстракт фермента добавляли к глаукониту и проводили перемешивание массы в течение 1 часа. После суточного выдерживания смесь фильтровали. Иммобилизованный на глауконите фермент сушили на воздухе и затем использовали для очистки модельных растворов, содержащих ионы тяжелых металлов и фенол в присутствии перекиси водорода. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты очистки модельных растворов сопряженным методом ($n=3, \alpha=0.95$)

Исходная концентрация загрязнителей, мг/дм ³		Концентрация загрязнителей после обработки, мг/дм ³		ПДК, мг/дм ³		
Тяжелые металлы	Фенол	Тяжелые металлы	Фенол	Тяжелые металлы	Фенол	
Zn	50	Zn	0.5 ± 0.12	Zn	5	
Cu	50	Cu	3.0 ± 0.5	< 0.001	Cu	3
Pb	50	Pb	0.02 ± 0.01		Pb	0.03
					0.001	

Таким образом, можно сделать вывод о том, что эффективным способом очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов и фенола может служить использование фермента пероксидазы, иммобилизованном на глауконите с добавлением перекиси водорода для ускорения реакции.

Список литературы

1. Шарифуллин В.Н., Зитдинов Н.И. Интенсификация биохимической очистки фенолсодержащих сточных вод. // Химическая промышленность - 2000. - № 4. - С.41 – 42.
2. Дриц В.А. Проблемы определения реальной структуры глауконитов и родственных тонкодисперсных силикатов. М.: Химия, 1993. – 200с.
3. Левченко М.Л., Губайдуллина А.М. Глауконитовые пески для экологической защиты и восстановления природных свойств грунтов и водной среды. // Бурение и недра – 2009. - вып.4.- С.56 – 59
4. Бахирева О.И., Басов А.В., Кондратьева Т.В., Басов В.Н. Исследование процесса обезвреживания нефтезагрязненных почв с использованием иммобилизованных на глауконите микроорганизмов. // Научно-технический вестник Поволжья – 2013. - № 2. - С.79 – 81
5. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л.: Химия, 1977. – 120с.
6. Тишков В.И. Пероксидаза из корней хрена: моделирование свойств химической модификацией белковой глобулы и гемма. // Успехи биологической химии – 2011. – т.51. – С.37 – 64
7. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. – 628с.

02.00.11

П.А. Катасонов, Д.С. Мартемьянов

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, факультет энергетики и информатизации, кафедра электроэнергетики и электротехники, г. Набережные Челны, comrade.hammond@gmail.com

АДСОРБЦИЯ КАТИОНОВ СВИНЦА НА МАГНЕТИТЕ, ПОЛУЧЕННОМ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Получены уравнения изотермы и кинетики адсорбции катионов Pb^{2+} из водной среды при 25 °С на магнетите, синтезированном плазменно-электролитическим диспергированием углеродистых сталей. Достигнуто полное извлечение свинца из модельного раствора. Установлены условия, при которых происходит регенерация данного сорбента.

Ключевые слова: *адсорбционная очистка; магнетит; изотерма Ленгмюра.*

Введение

Оксиды железа широко применяются для очистки воды благодаря своим высоким адсорбционным свойствам по отношению к катионам солей тяжелых металлов [1, 2]. Среди большого количества загрязнителей подобного типа, свинец является одним из наиболее опасных и часто встречающихся. Свинец не подвержен биодegradации, поэтому должен быть удален из воды [3].

Известно, что строение и метод получения оксидов железа оказывает значительное влияние на их адсорбционные свойства [1]. Применяемые методы получения оксидов железа можно разделить на химические и физико-химические [4]. Первые получили широкое распространение в промышленности, но образуют крупные объемы сточных вод, печных газов. Методы второй группы чаще всего достаточно сложны в реализации, но позволяют осуществлять более гибкое управление свойствами конечного продукта, а также значительными возможностями по автоматизации. Одним из таких методов является плазменно-электролитическое диспергирование углеродистых сталей [5]. Основными его достоинствами являются применение несложного оборудования и возможность получения порошка магнетита стабильного гранулометрического состава в широком диапазоне средних размеров частиц. Однако адсорбционные свойства данного материала изучены недостаточно.

Целью настоящего исследования является изучение адсорбции свинца магнетитом, полученным плазменно-электролитическим диспергированием углеродистых сталей.

Методика проведения эксперимента

Порошок магнетита, используемый в качестве сорбента, был получен плазменно-электролитическим диспергированием цилиндрического электрода диаметром 10 мм, изготовленного из стали А20. В качестве электролита использовался 0.01% раствор $NaCl$ в дистиллированной воде. Металлический электрод подключался в положительному полюсу источника постоянного тока, а электролит – к отрицательному. Между данными электродами поддерживались расстояние 1 мм и напряжение 600 В при токе 1,9 А. Порошок сразу после образования попадал в электролит. После извлечения, он промывался, просушивался до постоянства массы при 90 °С и очищался методом магнитной сепарации. Удельная поверхность порошка магнетита измерялась на приборе Nova 1000e по методу БЭТ.

Исследование адсорбции и ее кинетики проводилось на модельных растворах, приготовленных из нитрата свинца $Pb(NO_3)_2$ и деионизованной воды, в диапазоне концентраций ионов Pb^{2+} 1 – $1 \cdot 10^6$ мкмоль/л. Пробы отбирались через определенные промежутки времени вплоть до достижения адсорбционного равновесия.

Измерение концентрации растворов проводилось на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант Z.ЭТА-1» с электротермической атомизацией пробы.

Результаты и обсуждение

Количество адсорбированных ионов свинца из модельного раствора определялось с помощью следующего выражения:

$$A = ([Pb]_0 - [Pb]) \frac{V}{S}, \quad (1)$$

где A – удельная адсорбция, моль/м²; $[Pb]$ и $[Pb]_0$ – равновесная и исходная концентрации катионов Pb^{2+} соответственно, моль/л; V – объем раствора, л; S – площадь поверхности сорбента.

График зависимости адсорбции катионов Pb^{2+} на дисперсном магнетите от равновесной концентрации при температуре 25 °С представлен на рис. 1. Размер частиц исследуемого сорбента составил 40 – 50 мкм, а удельная поверхность – 0.216 м²/г.

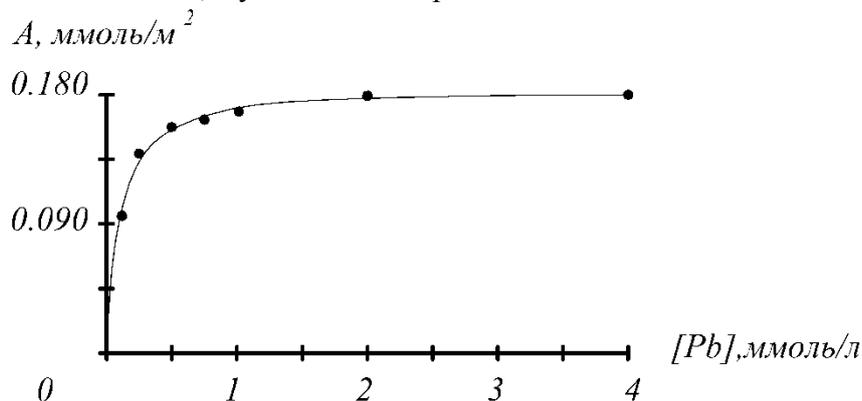


Рис. 1 – Изотерма адсорбции катионов Pb^{2+} на дисперсном магнетите при 25 °С

Кривая изотермической адсорбции следует уравнению Ленгмюра:

$$A = A_{\max} \frac{K_L [Pb]}{1 + K_L [Pb]}, \quad (2)$$

где A_{\max} – удельная адсорбция насыщения, моль/м²; K_L – константа Ленгмюра, л/моль.

Полученные значения констант в уравнении (2) составили: $A_{\max} = (1.85 \pm 0.12) \cdot 10^{-4}$ моль/м²; $K_L = (1.14 \pm 0.07) \cdot 10^4$ л/моль. Промывка сорбента в растворе 0.1 н HNO_3 приводило к полной десорбции катионов Pb^{2+} , что свидетельствует о возможности его регенерации и повторного использования. Обратимый характер адсорбции свидетельствует о ее физической природе.

Для изучения динамической адсорбции была выбрана точка на начальном участке полученной изотермы с равновесными значениями $[Pb]$ и A , равными 22.5 мкмоль/л и 36.5 мкмоль/м² соответственно (рис. 2).

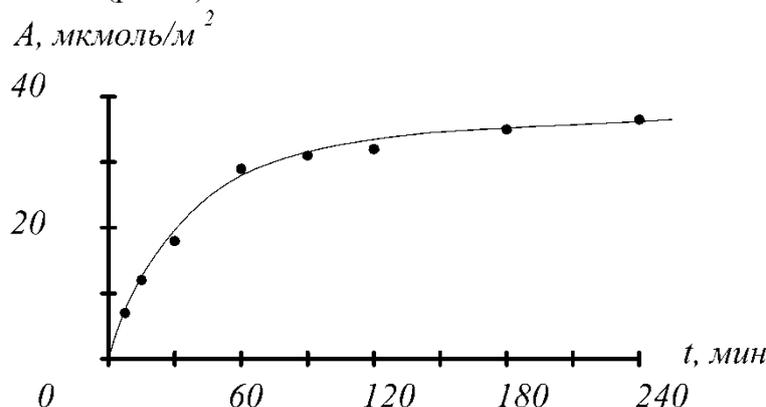


Рис. 2 – Кинетическая кривая адсорбции ионов Pb^{2+} на дисперсном магнетите при 25 °С

Кинетика адсорбции катионов тяжелых металлов подчиняется закону псевдо-второго порядка в соответствии с выражением [6]:

$$\frac{dA_t}{dt} = k(A_{\max} - A_t)^2 \quad (3)$$

где A_t – количество адсорбированных катионов Pb^{2+} в момент времени t ; k – константа скорости реакции.

Величина константы скорости адсорбции составила $15.2 \pm 0.81 \text{ м}^2/\text{моль} \cdot \text{с}^{-1}$. Половина значения равновесной концентрации достигается за первые 30 минут контакта модельного раствора с сорбентом.

Внесение в модельный раствор достаточного количества дисперсного магнетита позволяет добиться очистки воды вплоть до неопределяемой концентрации катионов Pb^{2+} .

Заключение

Проведенное исследование адсорбции катионов Pb^{2+} магнетитом, синтезированным плазменно-электролитическим диспергированием углеродистых сталей, позволило получить значения адсорбции насыщения, констант равновесия и скорости при $25 \text{ }^\circ\text{C}$, соответственно равные $(1.85 \pm 0.12) \cdot 10^{-4} \text{ моль/м}^2$, $(1.14 \pm 0.07) \cdot 10^4 \text{ л/моль}$ и $15.2 \pm 0.81 \text{ м}^2/\text{моль} \cdot \text{с}^{-1}$. Показано, что данная адсорбция носит физический характер. Магнетит регенерируется в растворе 0.1 н HNO_3 и может повторно использоваться, обеспечивая полное удаление свинца из воды.

Список литературы

1. Gimenez J., Martinez M., De Pablo J., Rovira M., Duro L.. Arsenic sorption onto natural hematite, magnetite, and goethite // *Journal of Hazardous Materials*. – 2007. – Vol. 121. – P. 575 – 580.
2. D' Couto H. Development of a low-cost sustainable water filter: A study of the removal of water pollutants As (V) and Pb (II) using magnetite nanoparticles // *Journal of the U.S. SJWP (Stockholm Junior Water Prize)*. 10.2175/ SJWP (2008), p. 32-45.
3. S. Tong, Y. von Schirnding, T. Prapamontol. Environmental lead exposure: a public health problem of global dimension // *Bulletin of World Health Organization*. 2000; 1068-1077.
4. Cornell R.M., Schwertmann U. *The Iron Oxides: Structure, properties, reactions, occurrences and uses*. Second edition. – Weinheim: Willey-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003. – 683 p.
5. Валиев Р.А., Гайсин Ф.М., Романов Е.С., Шакиров Ю.И. Синтезирование порошка оксидов железа в разряде с жидким электродом // *Физика и химия обработки материалов*. – 1991. – № 6. – С. 90 – 95.
6. Y. S. Ho, G. McKay. Pseudo-second order model for sorption processes // *Process Biochemistry*. – 1999. №34. – p. 451 – 465.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.22.10

¹Г.В. Абакумов, ²В.А. Бузин, ¹Е.И. Макаров¹Тюменский государственный нефтегазовый университет,²Тюменское высшее военно-инженерное командное училище (военный институт)
имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова, г. Тюмень, satm_tsogu@mail.ru**ФОРМИРОВАНИЕ РЕСУРСА МАСЛЯНЫХ ФИЛЬТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ
В ПЕРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В статье рассматриваются факторы, влияющие на ресурс фильтрующих элементов двигателей. Представлена концепция формирования реализуемого ресурса фильтрующих элементов двигателей. Представлены графики моделей. Рассмотрены закономерности, формирующие ресурс элементов автомобиля при переменных условиях и интенсивности эксплуатации.

Ключевые слова: *фильтрующие элементы; ресурс; автомобильные двигатели.*

Автомобильный транспорт играет важнейшую роль в транспортной системе страны. Он имеет ряд преимуществ перед другими видами транспорта, а также и ряд недостатков. К ним относятся высокая себестоимость перевозок, относительно высокая дорожная и экологическая опасность [1]. Существенную долю в себестоимости составляют затраты на техническое обслуживание (ТО) и ремонт автомобилей [2].

Одно из важнейших условий снижения этих затрат – управление работоспособностью автомобилей, которое невозможно без наличия объективных нормативов. Действующая система определения и корректирования нормативов не в полной мере отвечает данным требованиям [5].

На ресурс элементов автомобилей влияет ряд факторов. К числу наиболее значимых относятся климатические и дорожные условия, которые меняются по сезонам. При непостоянной интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года ресурс элемента будет зависеть от того, каковы доли пробега реализуются в разные сезоны. Например, в холодном климатическом регионе ресурс двигателя автомобиля, эксплуатируемого только зимой, существенно ниже ресурса двигателя автомобиля, используемого только летом [1]. В то же время сочетаний условий и интенсивности эксплуатации автомобилей не учитывается при нормировании ресурсов.

Учитывая, что большая часть территории России находится в зонах холодного и очень холодного климата, а интенсивность эксплуатации автомобилей существенно варьирует в течение года [2], необходимо отметить актуальность исследований, направленных на установление закономерностей влияния сезонных условий на формирование ресурса элементов автомобилей.

Ранее установлено, что для моделирования процесса формирования ресурса элементов автомобиля с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации практически невозможно использовать аналитическую модель. Это обусловлено следующими причинами.

Во-первых, ресурс зависит от интенсивности изменения технического состояния в процессе эксплуатации автомобилей. Интенсивность изменения параметров технического состояния определяется рядом факторов, которые изменяются во времени случайно [3, 4].

Во-вторых, ресурс зависит от того, каковы доли пробега автомобилей в различных условиях эксплуатации. То есть ресурс определяется не только общим пробегом автомобиля, но и тем, в каких условиях этот пробег был реализован [1].

Применительно к условиям Западно-Сибирского региона особенно актуально сочетание наработки и условий эксплуатации [2]. Так, если один автомобиль эксплуатируется преимущественно летом, а другой – преимущественно зимой, то, несмотря на то, что они используются в одном климатическом регионе, их условия эксплуатации будут разными.

Учесть случайные изменения условий и интенсивности эксплуатации в аналитической модели невозможно, поэтому для моделирования рассматриваемого процесса необходимо использовать имитационная модель.

Для моделирования закономерности формирования реализуемого ресурса система «Время – реализуемый ресурс» структурируется, затем на основе локальных моделей взаимодействия элементов komponуется модель системы в целом. В соответствии с концепцией формирования качества автомобилей в процессе эксплуатации, разработанной Захаровым Н.С. [2], представлена концепция формирования реализуемого ресурса фильтрующих элементов двигателей (рис. 1).

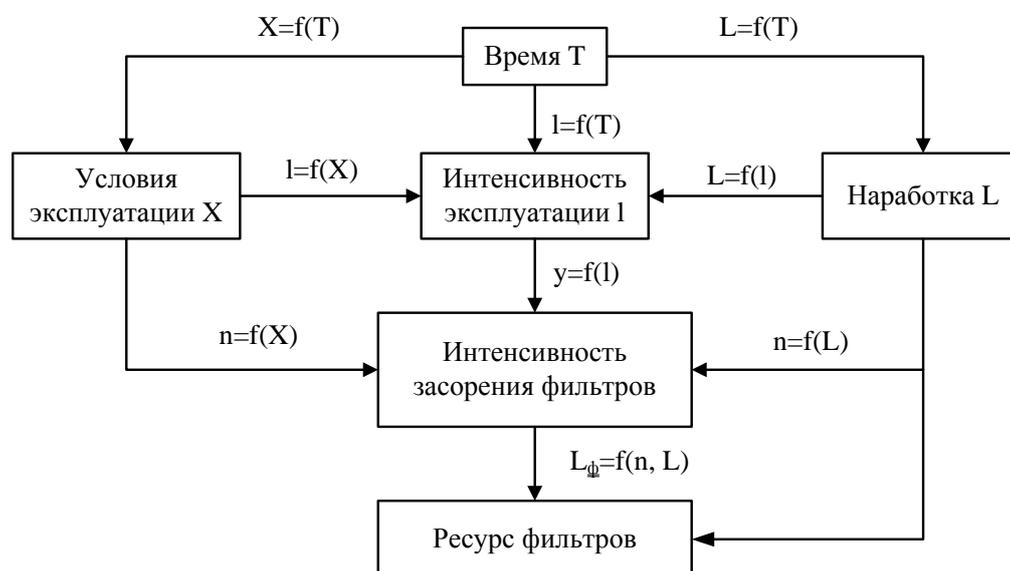


Рис. 1 – Схема формирования ресурса фильтров с учетом сезонных условий

Скорость процесса расходования ресурса фильтрующих характеризуется интенсивностью расходования ресурса (засорения) y , и интенсивностью эксплуатации автомобилей. В течение года меняется температура окружающего, дорожные условия, запыленность воздуха, вызывая изменение y . Интенсивность эксплуатации также меняется в течение года.

На основе закономерности изменения y по времени T можно спрогнозировать значение параметров технического состояния к моменту T_i , используя выражение

$$Y = Y_0 + \int_{L(T_0)}^{L(T_i)} y(T) \cdot dT.$$

Учитывая, что y зависит от температуры воздуха и наработки автомобиля, а эти факторы в свою очередь зависят от времени, необходимо установить закономерности изменения температуры воздуха и интенсивности эксплуатации в течение года, а также разработать соответствующие математические модели.

Закономерности изменения наработки и условий эксплуатации по времени описываются достаточно сложными трехкомпонентными моделями, поэтому вычисление последнего

интеграла аналитическим путем практически невозможно [1]. Следовательно, для получения численного решения необходимо использовать имитационную модель.

Список литературы

1. *Аникеев, В.В.* Корректирование нормативов ресурса автомобильных двигателей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации (на примере двигателей автомобилей КамАЗ-4310) / В.В. Аникеев : Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2000. – 40 с.
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.* Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, А.Н. Макарова // Известия Тульского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2012. – № 12-2. – С. 186–191.
4. *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.
5. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1985. – 86 с.

05.07.00

Б.А. Адамович д.т.н., **В.А. Вестяк** к.ф.-м.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, kaf311@yandex.ru

ПРОБЛЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА МАРСЕ

В настоящей статье рассматриваются проблемы жизнеобеспечения людей на Марсе. Рассказывается о возможных способах регенерации и воспроизводства продуктов жизнедеятельности. Достаточно подробно описываются особенности марсианских оранжерей и приводятся сведения о радиационной стойкости растений.

Ключевые слова: *система жизнеобеспечения, регенерация, растения, метановый реактор, минерализация.*

Введение

Стремление к освоению других планет нельзя объяснить просто любопытством землян. За этим стоит великий инстинкт выживания, связанный с тем, что жизнь человечества на Земле не бесконечна. Она зависит от длительности жизни Солнца и от многих других факторов, включая темпы роста народонаселения, обеспечения продовольствием, резкое изменение климата и др. Причем, последние факторы могут получить критическое развитие в ближайшие сотни и даже десятки лет.

Если раньше основными стимулами были поиск новых ископаемых – источников энергии, великие географические открытия и постоянное стремление быть первыми «среди планеты всей», то теперь оказалось, что «своя рубашка ближе к телу» и что расселение людей на другие планеты обязательно станет реальной необходимостью. Именно Марс, в этом смысле, является наиболее привлекательным. Но достижение его требует длительного времени – около года.

Великие мореплаватели, уходя в неизведанные дали, использовали не менее 2-х кораблей с тем, чтобы при гибели одного можно было бы возвратиться на другом. Видимо, межпланетные пилотируемые полеты придется осуществлять по этой схеме. Наличие второй заселенной людьми планеты также существенно повышает надежность существования всего человечества. И это обстоятельство, наряду с возможностью получить ответ на вопрос: «Есть ли и была ли жизнь на Марсе?», видимо является краеугольным камнем современной космонавтики.

Проблемы жизнеобеспечения поселения

Как известно, при выдыхании человек воспроизводит углекислый газ, а вдыхает обогащенный кислородом воздух. Поставим следующую задачу, которая моделирует СЖО марсианского поселения, как будет показано далее в статье. Допустим, что жилой отсек поселения имеет объем 200 куб. метров. В этом объеме содержится 0,15% углекислого газа CO_2 . Из помещения, где воспроизводится кислород подается в минуту 20 m^3 воздуха, содержащего 0,04% CO_2 . Через какое время количество углекислого газа в воздухе комнаты уменьшится втрое и будет пригодно для нормальной жизнедеятельности?

Пусть $Q(t)$ m^3 - количество углекислого газа в комнате в момент времени t после начала работы вентилятора. Тогда $\frac{Q(t)}{200}$ есть концентрация его в комнате в момент времени t .

Следовательно, 20 m^3 воздуха, которые уходят из комнаты за минуту, содержат $0,1Q(t)$ m^3 CO_2 . Поэтому за время dt мин из комнаты уйдет $0,1Q(t)$ m^3 CO_2 . За это же время

вентилятор подаст $\frac{0,04\%}{100\%} 20dt \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ в комнату. Таким образом, приращение dQ газа CO_2 за время dt равно $(0,008 - 0,1Q(t))dt$, и мы получаем следующее дифференциальное уравнение:

$$dQ = (0,008 - 0,1Q)dt \quad (1)$$

Проинтегрировав обе части дифференциального уравнения, получим его решение

$$Q(t) = (0,08 - Ce^{-0,1t}) \quad (2)$$

Поскольку при $t = 0$ $Q = 0,3 \text{ м}^3$ (т.е. 0,15% от 200 м^3), то $C = -0,22$. Таким образом, $Q = 0,08 + 0,22e^{-0,1t}$. Момент времени T , когда количество CO_2 будет $0,1 \text{ м}^3$, находим из равенства $0,1 = 0,08 + 0,22e^{-0,1T}$. Получим $T = 10 \ln 11 \approx 24$ мин.

Из приведённого примера становятся очевидными, что для нормального функционирования человека в условиях поселения необходимо постоянно воспроизводить обогащённый кислородом воздух, причём подавать его туда можно порционно из технического помещения, где он и будет воспроизводиться. Кроме того, ясно, что жизнеобеспечение марсианского поселения необходимо осуществлять параллельно со следующими работами:

- тщательная разработка жилых и рабочих помещений на Марсе, в том числе специальных помещений, где воспроизводится обогащённый кислородом воздух;
- организация постоянно действующих автоматизированных грузовых потоков Земля-Марс на электрореактивных двигателях;
- организация работы людей на Марсе по вахтенному принципу длительностью вахты 2 года, что соответствует времени между двумя смежными великими противостояниями Марса;
- разработка физико-химической системы жизнеобеспечения с удельным расходом веществ $0,95 \text{ кг}$ в сутки на человека (все воспроизводится кроме пищи);

В основу разработки марсианского СЖО обычно принимают баланс веществ в организме человека. Для поддержания нормального баланса веществ поселению в составе 15 человек в течение 2-х летней вахты потребуется всего 70 тонн различных продуктов (вода, кислород, пища). Если использовать самую лучшую физико-химическую систему жизнеобеспечения, использовавшуюся некогда на орбитальной станции «Мир» с доработкой в части применения метанового реактора, утилизирующего избыток углекислого газа, то потребуется доставлять в 10 раз меньше веществ, т.е. 7 тонн в основном пищевых продуктов.

Часть этих продуктов также можно воспроизводить в поселении, но для этого необходимо использовать биологические звенья, такие как высшие и низшие растения [1]. Высшие – это витаминная зелень, низшие – это одноклеточные водоросли (хлорелла). Их частичное использование, кроме того, будет содействовать улучшению психологического климата поселения, включению в рацион питания естественных витаминов и воспроизводство в качестве дополнения к имеющемуся фотосинтетического биологически активного кислорода.

Впервые на эту особенность космических СЖО обратили внимание К.Э. Циолковский и Ф.А. Цандер. Но серьезные экспериментальные работы в этом направлении были начаты в СССР только в 60-70 гг. XX века в Институте биофизики (Красноярск) и Институте медико-биологических проблем ИМБП (Москва). Огромную помощь в развитии тех работ оказал Главный конструктор ОКБ – 1 С.П. Королев. Особое внимание созданию экспериментальной базы для испытания космических систем жизнеобеспечения уделил именно он. Еще в 1934 году он писал: “Первое – экипаж ... Второе – жизненный запас. Сюда войдут все установки, приборы и приспособления для поддержания жизненных условий экипажа при его работе на большой высоте” [2].

Благодаря его помощи в ИМБП были созданы две крупные экспериментальные базы: НЛК (наземный лабораторный комплекс) и НЭК (наземный экспериментальный комплекс). На базе НЛК 1968 году в условиях полной изоляции и применения регенеративных систем жизнеобеспечения был проведен годовой медико-технический эксперимент с участием трех испытуемых [3], а НЭК успешно использовался и используется для проведения уникальных испытаний систем жизнеобеспечения применительно к межпланетным полетам и по сей день.

В последние годы осуществлялись эксперименты по программе «Марс-500». Указанные экспериментальные базы были созданы при участии академика В.В.Парина и профессора Ю.Г.Нефедова.

Вернемся к рассмотрению планетной схемы СЖО.

Для обеспечения калорийности рациона питания, равной 3000 ккал, в рацион человека должны входить в сутки:

- белки – 120 г (в т.ч. растительные – 50 г, животные – 70 г);
- жиры – 100 г (в т.ч. растительные - 25 г, животные – 75 г);
- углеводы – 400 г.

Животные белки и жиры можно воспроизводить только при выращивании домашних животных. Для поселения это невыгодно, так как потребует выделения дополнительных площадей для содержания животных, дополнительных углеводов для их питания, дополнительной воды для их питьевого водоснабжения, дополнительного кислорода для их дыхания, дополнительной нагрузки на систему утилизации отходов и очистки атмосферы от вредных примесей [4].

Таким образом, 70 г животных белков и 75 г животных жиров (всего 145 г/сутки) надо восполнять из запасов в виде консервов. Полностью воспроизводить углеводы просто невозможно, ибо для этого потребовалась бы огромная площадь (до 250 м²) оранжереи для выращивания хлебных и крупяных злаков. Однако овощную, витаминную оранжерею, обеспечивающую конвейерное воспроизводство овощей в количестве 250 г (сухих) на человека в сутки, необходимо предусмотреть. Таким образом, 350 г углеводов в виде муки и различных круп нужно восполнять из запасов.

Растительные белки и жиры должны воспроизводиться в поселении при помощи культиваторов хлореллы. Применение такой системы жизнеобеспечения позволит сократить массу доставляемых на одну вахту продуктов с 7 тонн до 3,2 тонн, т.е. до 130 кг в месяц на поселение. Принципиальная схема такой системы жизнеобеспечения приведена на рис. 1.

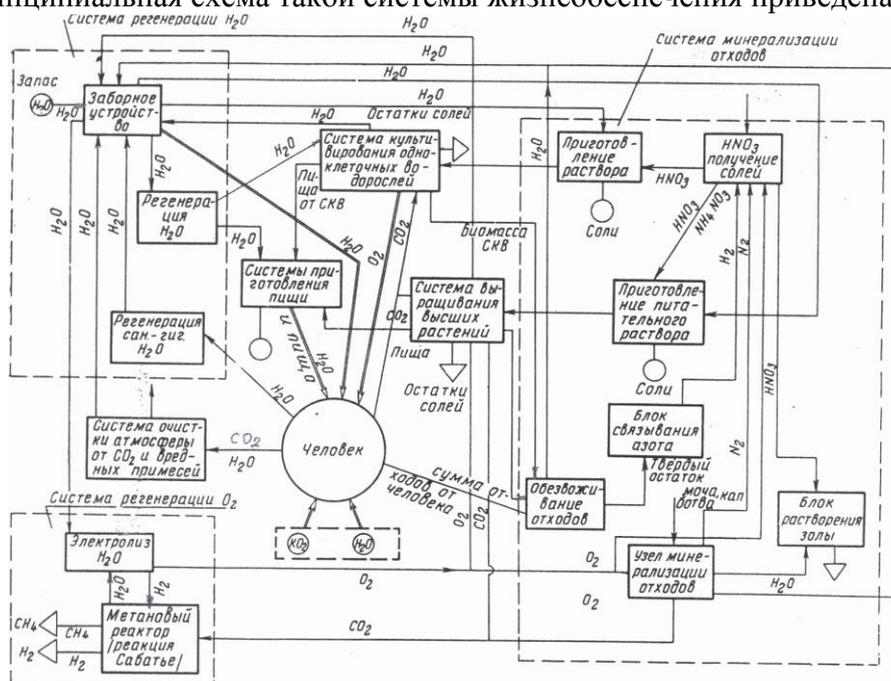


Рис. 1 Принципиальная схема системы жизнеобеспечения марсианского поселения

В отличие от физико-химических СЖО, в связи с введением 2-х биологических звеньев, планетная СЖО должна иметь систему минерализации отходов, о которой мы расскажем позднее. Планетная система жизнеобеспечения так же должна обеспечивать регенерацию продуктов жизнедеятельности.

Регенерация продуктов жизнедеятельности

Питьевая вода из мочи и полученная путем обезвоживания отходов кухни, оранжереи и культиватора одноклеточных водорослей, регенерируется окислительно-каталитическим методом в несколько стадий: фильтрация, испарение, высокотемпературное окисление органических соединений до простейших газов и окислов в присутствии катализатора и, наконец, получение конденсата. После обогащения конденсата соответствующими солями и микроэлементами его можно использовать в качестве питьевой воды. Кроме этого, питьевая вода регенерируется из конденсата атмосферной влаги окислительно-сорбционным методом, который предусматривает фильтрацию и окисление органических соединений под воздействием ультрафиолетового источника света, доочистку на ионообменных смолах и обогащение получаемой воды солями и микроэлементами.

Для туалета, душа и мытья посуды используются санитарно-бытовые воды, регенерируемые методом коагуляции.

Система регенерации кислорода состоит из двух блоков: электролизного блока и блока утилизации углекислого газа (метановый реактор, работающий по реакции Сабатье).

В этой системе поселенцы дышат биологически чистым кислородом, получаемым при культивировании одноклеточных водорослей, а электролизный кислород и кислород, поступающий из оранжереи, используются для минерализации отходов с целью получения питательных растворов для оранжереи и культиватора водорослей. На случай выхода из строя культиватора питание кислородом осуществляется из оранжереи, а если и она выходит из строя, кислород для дыхания поступает непосредственно из электролизного блока.

В будущем возможно создание такого электролизного блока, который будет получать кислород из углекислого газа, из которого в основном состоит атмосфера Марса. Это можно осуществить путем термического разложения CO_2 в электролизере с помощью окиси циркония (ZrO_2) по реакции $2\text{CO}_2 = 2\text{CO} + \text{O}_2$.

Даже при высоких температурах (2600°C) конверсия CO_2 в O_2 происходит только на 50%. Более выгодно использовать электролизер с твердым электролитом на основе окиси циркония с платиновыми электродами. В этом случае высокие температуры не нужны, а используется явление электронной проводимости с образованием отрицательных ионов кислорода. Этот процесс осуществляется в электрохимической ячейке с твердым электролитом, изготовленным из стабилизированной окиси циркония кубической модификации. Лабораторный образец такой системы разработан в США по программе MGS. Концентрирование CO_2 из марсианской атмосферы легко осуществить при низкой температуре в ночное время на синтетических цеолитах, а в дневное время осуществить десорбцию углекислоты и подачу ее на электрохимическую ячейку.

Система очистки атмосферы от CO_2 и вредных примесей, работающая вместе с системой регенерации кислорода поддерживает концентрацию углекислого газа в обитаемых секторах поселения на уровне 0,3 – 0,5% об., обеспечивая поглощение CO_2 до 1200 литров в час. Такая концентрация CO_2 не вызывает у человека дискомфорта и это подтвердил годовой медико-технологический эксперимент с участием 3-х испытуемых.

Отличительной особенностью этой системы является то, что термовакuumная обработка поглотителя CO_2 (синтетических цеолитов) восстанавливает сорбционную способность цеолитов и обеспечивает многократное использование для этих целей одного и того же продукта, содержащегося в блоках очистки. Излишняя углекислота сбрасывается в атмосферу Марса или используется в кислородных электрохимических ячейках.

Опыт антарктических и арктических экспедиций говорит о том, что в местах расположения этих экспедиций годами накапливается огромное количество всевозможных отходов: пустых бочек от топлива, консервных банок и других бытовых отходов. Металл

захламляет эти регионы, а органические отходы в связи с наличием в атмосфере кислорода минерализуются естественным путем.

Другое дело на Марсе: в поселении отходы не будут подвергаться минерализации в связи с отсутствием в атмосфере Марса кислорода. Важную роль в утилизации отходов должна выполнять подсистема их обезвоживания и возврата в круговорот получаемой воды. В этом смысле на Марсе имеются идеальные условия: высокий вакуум для испарения воды и холод для ее конденсации и последующей дополнительной очистки и кондиционирования. Все эти операции можно осуществить в производственных помещениях поселения без использования вакуумных насосов и холодильных устройств. Сухой остаток отходов с относительной влажностью не более 2-3% упаковывается в пленочные мешки, куда вводится антисептик, а сами мешки складываются в специально предусмотренном для этой цели кратере. Система минерализации состоит из блока обезвоживания биомассы оранжереи и культиватора, блоков связывания азота с водородом для получения азотной кислоты и минеральных солей, блоков приготовления питательных растворов для оранжереи и культиватора одноклеточных водорослей.

Марсианская оранжерея

Этой системе отводится небольшая роль с точки зрения продовольственного снабжения. Она в основном должна обеспечивать поселенцев свежими овощами и витаминной зеленью в количестве 250 г сухой биомассы на одного человека в сутки.

Таким образом, с учетом производительности культиватора одноклеточных водорослей (65 г сухой биомассы в сутки на человека) система приготовления пищи должна ежедневно поставлять поселенцам 15 литров питьевой воды и 27 кг натуральных пищевых продуктов, включая мясные и мучные изделия. На долю оранжереи приходится 3,75 кг сухой биомассы или, имея в виду, использование таких растений как капуста кочанная, морковь, свекла столовая, остальное – зелень, 34 кг в сутки сырой биомассы на все поселение (15 человек). Производительность такой оранжереи в условиях Земли составляет по сырой биомассе 0,38 кг/м² в сутки. Возможные схемы космических оранжерей, показаны на рис.2.

Схема I предложена ещё К.Э. Циолковским в 1905 году. Оранжерея состоит из прозрачной оболочки 1 и шарообразной посевной поверхности 8, связанных проходом 2, вегетационного оборудования 3. В этой оранжерее солнечный свет поступает к растениям через прозрачную оболочку. Реализовать эту схему весьма трудно, так как она требует непрерывного вращения для обеспечения светом всей посевной площади и является малонадежной в связи с возможным повреждением прозрачной оболочки метеоритами. Все остальные типы космических оранжерей могут быть представлены тремя схемами: схема II – с использованием легкозаменяемых иллюминаторов 4, ориентирующихся на Солнце, схема III – с использованием концентратора солнечной энергии 6 для ее прямого использования при помощи световодов 7, схема IV – с фотоэлектрической батареей 5 для преобразования солнечной энергии в электрический ток и питания искусственных источников света, установленных внутри отсека оранжереи.

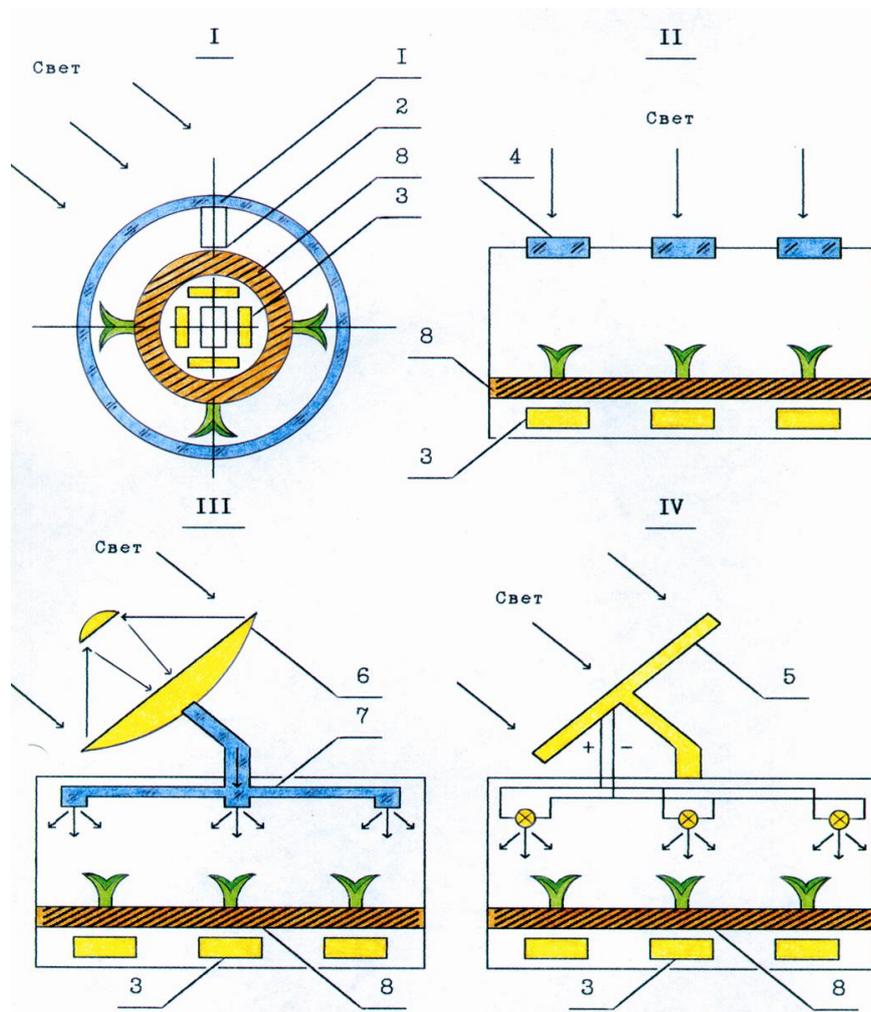


Рис. 2 Типы космических оранжерей

Для марсианской оранжереи можно применить II, III и IV схемы, но оптимальной в связи с большой, как мы показали позднее, радиационной стойкостью растений является схема II с иллюминаторами. В такой оранжерее, не имеющей радиационной защиты, человек должен работать по особому регламенту и только в периоды спокойного Солнца. Поскольку, как мы показали ранее, реальное использование солнечной энергии на Марсе почти такое же, как на Земле, то производительность такой оранжереи в условиях Марса, с учетом потерь энергии в иллюминаторе (10-15%), в связи с необходимостью защищаться от жесткого ультрафиолета, имеющегося на Марсе (как известно на этой планете полновесный озоновый слой отсутствует) составит $0,76 \text{ кг/м}^2$ в сутки. Тогда необходимая площадь оранжереи будет составлять 180 м^2 .

При использовании прозрачных надувных конструкций оранжерею следует размещать отдельно от других помещений поселения. С учетом вспомогательных служб такую оранжерею можно разместить в полуцилиндрическом надувном ангаре шириной 6 м и длиной 35 м. При этом особое внимание нужно будет уделить пылевой нагрузке на надувную оболочку, возникающей от пылевых бурь [5].

Система минерализации отходов должна готовить для оранжереи питательный раствор Кнопа, содержащий макро- и микроэлементы в количестве до 2 г на один литр воды. Оранжерея должна функционировать непрерывно, производя биомассу и кислород. Обычный посев такими особенностями не обладает, так как урожай собирается в конце вегетации, а кислород выделяется неравномерно в процессе вегетации. В связи с этим в оранжерее необходимо создать конвейерный посев с движущимися растениями, обладающими постоянной кислородной производительностью и возможностью периодического снятия урожая. В таком посеве можно выращивать растения от рассады до

получения полноценного урожая, при этом, по мере роста растений они развиваются по экспоненциальному закону.

Одним из важнейших преимуществ конвейерного посева с раздвижением растений, является наиболее полное использование посевной площади. Если в условиях натурального хозяйства, мы вынуждены рассаживать растения на большом расстоянии друг от друга, определяющимся конечными размерами полноценного растения, то в конвейере, по мере созревания растения, ему отводится такое пространство, в котором оно нуждается. Раздвижение растений в сочетании с контролируемым питанием позволяет в 2-2,5 раза увеличить урожай овощных культур.

Закон раздвижения (изменение посевной площади S в процессе конвейерного выращивания растений) можно описать следующей формулой:

$$S = \frac{S_0}{L} e^{\xi \frac{B_C \cdot K_S}{L}} \quad (3)$$

где: S_0 – площадь листьев в рассадочном устройстве;

L – листовой индекс (отношение площади листьев к посевной площади);

$\xi = \frac{B_L}{B_C}$ – доля производительности листьев (B_L) в производстве сырой полезной

биомассы (B_C);

$K_S = \frac{S_L}{m_L}$ – коэффициент пропорциональности между площадью листа (S_L) и его

сырой биомассой (m_L) – для данного растения постоянная величина.

Из уравнения фотосинтеза следует, что его производительность существенно зависит от концентрации углекислого газа в оранжерее. Если в жилых помещениях, предназначенных для длительного пребывания людей, в марсианском поселении концентрация углекислоты поддерживается на уровне 0,3-0,5% об., то в воздухе оранжереи его концентрацию можно поднять до того уровня, который не вредит здоровью людей при периодическом кратковременном посещении оранжереи в процессе эксплуатации, посадки и съема урожая. В качестве такого уровня можно принять 1% об. CO_2 , при котором становятся еле заметными приспособительные биохимические изменения в организме человека.

Обеспечить оранжерею углекислым газом не представляет никаких трудностей, так как в атмосфере Марса его концентрация достигает 95-96% об. Слежение за концентрацией углекислого газа в оранжерее позволяет корректировать количество и состав питательного раствора для получения максимальной интенсивности фотосинтеза.

Количество потребляемого растениями углекислого газа, в соответствии с упомянутым уравнением фотосинтеза, должно быть пропорциональным количеству наращиваемой биомассы, т.е. количеству израсходованных элементов питания. Дозируя подачу углекислого газа из атмосферы Марса в оранжерею для поддержания заданной его концентрации, можно определить корректирующую дозу питательного раствора.

Радиационная стойкость растений

Как и человек, растения подвержены действию ионизирующей радиации. Механизмы этого воздействия одинаковы, однако последствия более благоприятны для растений. Известно, что малые дозы ионизирующей радиации вызывают стимуляцию развития растений, ускоряют всхожесть семян. Очень большие дозы губят растения. К числу наименее стойких растений следует отнести древесные, особенно хвойные растения. Вспомним «рыжий лес» в Припяти. Сосна смолистая гибнет в течение полугода при мощности дозы 0,02 Гр/сут., в то время как шалфей выдерживает до 3,5 Гр/сут. Водоросли и грибы еще более стойкие: сохраняют жизнедеятельность при мощности дозы до нескольких Грей в сутки. Также повышенной радиационной стойкостью обладают травянистые формы растений и

многие овощи. Так, например, семена капусты после облучения суммарной дозой 5000 Грей снизили всхожесть всего на 5%. Это свидетельствует о том, что даже при воздействии такого опасного вида излучения на овощные и зеленые культуры как солнечная вспышка IV класса, функционирующую марсианскую оранжерею не нужно будет прятать в радиационное убежище или закапывать в марсианский грунт.

Другое дело семена – для них надо предусмотреть защиту от солнечных вспышек выше II класса. Наиболее высокой радиоустойчивостью обладают микроводоросли, которые могут использоваться в системах жизнеобеспечения. Так, например, при облучении суспензии хлореллы γ - лучами летальная доза составила 130 Гр., а при облучении α - частицами – 50 Гр., причем, фотосинтез продолжается в течение нескольких недель после получения летальной дозы. Среднелетальная поглощенная доза для человека составляет 4 ± 1 Гр., это существенно ниже летальной дозы любых растений.

Список литературы

1. *Адамович Б.А., Адамович А.Б., Васильев Ю.Б., Вестяк А.В., Вестяк В.А.* Новыетехнологии утилизации свалочного газа. Журнал “Твердые бытовые отходы”, январь, 2008, 29-35 с.
2. *Королев С.П.* Ракетный полет в стратосферу. М., Госвоениздат, 1934, 112 с.
3. *Адамович Б.А., Акопов М.Г., Вестяк А.В., Матвеевко А.М.* Испытание и эксплуатация космических систем жизнеобеспечения. - М., Издательство МАИ, 2003, 210 с.
4. *Адамович Б.А., Вестяк А.В., Кучеров В.П.* Социальная экология.- М., РАУ-Университет, 2002, 240с.
5. *Маров М.Я.* Планеты Солнечной системы. – М.: Наука, 1986, 320с.

05.07.02

В.И. Ампилов

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

ДИДАКТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОННЫХ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Статья посвящена вопросам разработки дидактических компонент системы управления данными об изделии (PDM). Предлагаемое мобильное приложение может рассматриваться в качестве средства оперативного доступа к базе данных методических материалов. Представлен алгоритм доступа к методическим материалам сайта PDM-tutor и порядок обновлений электронных документов.

Ключевые слова: *мобильное приложение, методические компоненты, электронная документация, детали.*

Предприятиями ракетно-космической отрасли накоплен значительный опыт использования систем управления данными об изделии PDM (Product Data Management), которые обеспечивают комплексный подход в автоматизации процессов проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа.

Первоначальное обучение персонала происходит после развертывания PDM системы на базе компании-интегратора, которая, собственно, и занимается развертыванием системы. Другая часть учебного цикла направлена на профильную подготовку молодых специалистов правилам создания электронных графических документов на этапах проектирования и технологической подготовки производства. В этих документах наглядно представляется предметная область, демонстрируются возможности, целесообразность, необходимая полнота использования технических норм и правил, которые определены в Национальных стандартах РФ.

Расширенный доступ к разработанной системе осуществляется двумя способами: посредством интернет через онлайн оболочку либо, как альтернатива, через мобильное приложение PDM Reader, что дает возможность пользоваться данной системой с мобильного устройства в режиме offline, после предварительной загрузки. Это дает дополнительное преимущество над встроенными системами, так как доступ к ней теперь осуществляется не только на любом компьютере, подсоединенном к сети интернет, но и в любом месте, для использования в качестве мобильной справочной базы или для обучения. Ограниченный доступ предоставляется непосредственно через PDM-систему, в нашем случае, это SolidWorks Enterprise PDM [1].

При использовании системы подготовки технической документации на предприятии подразумевается, что продукт заранее интегрирован в PDM-систему. Если на предприятии PDM-система не установлена, но имеется необходимость в использовании PDM-tutor, необходимо, чтобы пользователям был предоставлен доступ в интернет. Зная адрес интернет-ресурса, любой желающий может начать пользоваться системой. Вне зависимости от доступа пользователь попадает на главную страницу системы [2].

На главной странице системы описаны ее ключевые преимущества и особенности. Отдельный блок посвящен новостям проекта, за которыми может следить каждый пользователь и узнавать об обновлениях системы. В блоке «Интересные статьи» представлены последние статьи, посвященные тематике CAD/CAM/CAE/PDM – систем, предоставленные изданиями «САПР и графика» и «CAD/CAM/CAE». Выбрав

интересующую статью, она откроется в новом окне в формате pdf. Система оснащена поиском по материалам для быстрого перехода в нужный раздел.

Основной раздел системы – классификация деталей машин (Рис.1).

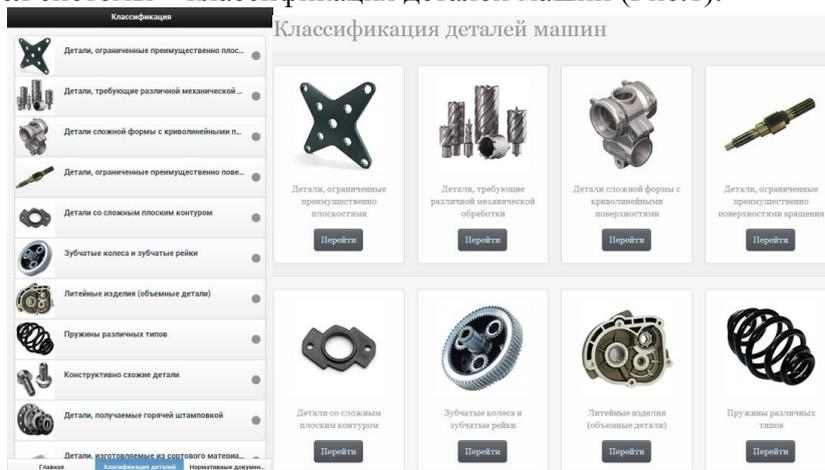


Рис.1- Классификация деталей машин

Здесь представлена одна из возможных классификаций, основанная на геометрическом и технологическом признаках деталей. Всего 14 групп, каждая из которых сопровождается иллюстрацией. Пользователь выбирает интересующую его группу и переходит в нужный раздел (Рис.2). Переход осуществляется как при нажатии на иллюстрацию, так и по кнопке «Перейти».

На сегодняшний момент функционируют все разделы, пусть и в несколько ограниченном объеме, что связано с трудностью формирования дидактического материала достаточно высокого качества. В перспективе данная система будет улучшаться, для увеличения качества и полноты справочных и обучающих функций.

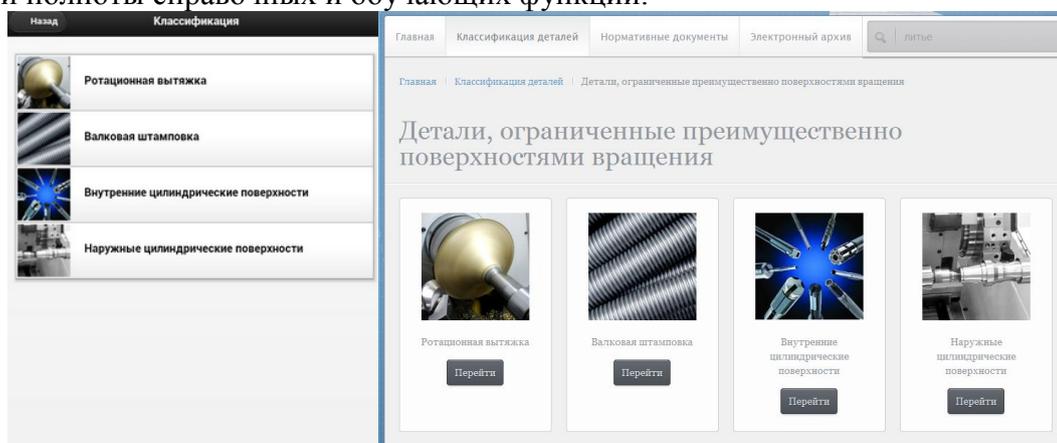


Рис.2-Детали, ограниченные преимущественно поверхностями вращения"

Были взяты 4 базовых группы видов обработки и формирования деталей. Оформление данной страницы сделано по аналогии с предыдущей. Каждый раздел сопровождается дидактическим материалом. Каждая статья написана с учетом последующего расширения до целого семейства статей по следующему плану:

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

Пользователь может ознакомиться с теоретическим материалом или сразу перейти к технологическому процессу изготовления детали.

В качестве одного из примеров рассмотрен технологический процесс изготовления типовой детали агрегата на примере крышки редуктора высокого давления.

При разработке была выбрана клиент-серверная схема функционирования, что обосновывается тем, что базовым хранилищем дидактических материалов является сайт PDM-tutor и любое изменение, дополнение или расширение его материалов должно быть

доступно пользователям и не требуют от них никаких дополнительных действий по обновлению приложения.

Достигается это следующим образом: согласно расписанию, зафиксированному в cron, или по команде оператора блок серверных скриптов посылает запрос к сайту-первоисточнику, проверяя его на доступность, после чего производит поочередное сканирование разделов сайта, обрабатывая их, и загружает в базу данных, хранящуюся на этом же сервере.

После запуска приложения оно генерирует обращение к серверу, запрашивая текущие данные, в свою очередь блок серверных скриптов обрабатывает запрос и передает его базе данных, после этого по цепочке происходит возврат запрошенных данных.

Обмен информации происходит по принципу post-запросов jQuery. То есть, идентификатор нужной информации отправляется на серверный скрипт, который по этому идентификатору выбирает информацию из базы и передает ее в приложение (Рис.3).



Рис.3- Запрос данных приложением

Серверная часть приложения состоит из ряда PHP-скриптов, запускаемых cron в определенное время для архивации и обработки данных или по команде оператора, и базы данных, используемой для хранения материалов. Так же они служат промежуточным звеном между приложением и базой данных.

Данное приложение предназначено для обучения молодых специалистов правилам и рекомендациям по составлению и оформлению технической документации на выпускаемые изделия. Система включает следующие разделы:

- справочные материалы по ЕСКД;
- дидактические материалы по технологии производства изделий промышленным способом;
- обучающие материалы.

Структура системы построена таким образом, чтобы специалист, использующий ее, может получить интересующие его сведения как из PDM-системы, так и вне ее. Система не обязательно должна быть привязана к конкретной PDM-системе.

Стоит отметить, что решение разработать систему в виде комбинации онлайн-оболочки и дополнительной клиент-серверной подсистемы является не только оригинальным, но и максимально практичным. Онлайн-оболочка служит для использования и обучения специалистов с помощью персонального компьютера, а клиент-серверное приложение, не требующее отдельного ПК, добавляет системе мобильности и позволяет использовать ее возможности в любом месте, имеющем GSM покрытие.

Список литературы

1. *Абрамова И.Г.* Эффективность внедрения PDM-систем на машиностроительных предприятиях / *И.Г. Абрамова, Д.А. Абрамов, Р.М. Богомол* Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2009. - №3. - с. 19.
2. *Амтилов В.И., Лестева А.А.* Автоматизированная система подготовки технической документации с элементами обучения в среде SolidWorks Enterprise PDM / *Научно-технический вестник Поволжья*, 2013, - №6 - с. 108-112.

05.02.23

¹И.И. Антонова, ²С.Ф. Хасанова

¹ЧОУ ВПО «Институт экономики, управления и права (г. Казань)»,
факультет менеджмента и инженерного бизнеса, кафедра ИСМ, Казань, antonova@ieml.ru
²Казанский (Приволжский) федеральный университет,
кафедра экономико-математического моделирования, Казань

ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ КРИТЕРИЕВ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРЕМИИ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА

В работе проведен статистический анализ экспертных оценок критериев модели национальной премии в области качества, полученных предприятиями промышленного и образовательного секторов по итогам работы за 2013 года. Полученные выводы показывают, что используемая модель достаточно эффективна и объективна для компаний промышленного сектора, однако при оценке образовательных учреждений необходимо учесть специфику деятельности образовательных учреждений, так как компетентность персонала и в особенности преподавательского состава играет главенствующую роль в эффективности функционирования образовательной организации.

Ключевые слова: корреляция, корреляционный анализ, EFQM, премия по качеству, критерии, совершенствование системы оценки.

Качество является основой конкурентоспособности современных компаний. Качество продукции влияет на имидж компании и ожидания потребителей (Prybutok и Cutshall 2004; Evans и Lindsay 2009; Yang 2009). Согласно исследованиям Azadegan и Pai (2008) победа компании в различных конкурсах по качеству оказывает влияние на рост стоимости компании, привлечения поставщиков и покупателей. Система TQM послужила основой создания лучших моделей качества работы фирмы при реализации процессного подхода (Lari и Asllani, 2013) [3].

Европейский фонд менеджмента качества (EFQM) является основателем модели совершенства систем качества компаний. Исследования Financial time показывают, что крупнейшие Европейские компании не только используют данную модель для самооценки, но и на ее основе разрабатывают национальные модели [2].

Так постановлением Правительства РФ от 12 апреля 1996 г. №423 на базе модели EFQM учреждена премия Правительства РФ в области качества. Исследования внутренних взаимосвязей модели EFQM, выполненные Vou-Llusag и пр. показали наличие сильных внутренних взаимосвязей между критериями и показателями критериев данной модели.

Премия Правительства РФ в области качества является важным стимулятором роста конкурентоспособности экономики страны. Организации получают всестороннюю оценку своей деятельности и возможность сравнения с конкурентами. Однако, так как содержание критериев оценки достаточно близки по смыслу, существует опасность дублирования информации и показателей, рассматриваемых экспертами при вынесении оценок. Целью данного исследования является статистический анализ экспертных оценок на наличие сильных взаимосвязей оценок по критериям, что позволит выявить возможные проблемы при использовании модели качества премии Правительства РФ в области качества.

В основу модели премии Правительства РФ в области качества заложены показатели, которые должны давать всестороннюю картину деятельности предприятия [5].

Каждый из критериев обеспечивает максимально полное исследование объекта оценки по двум составляющим: возможности организации (первые пять критериев) и достигаемых результатов (четыре критерия). С точки зрения процессного подхода, данные две части представляют входы и выходы процесса (рис.1).

Первым критерием является лидирующая роль руководства. Второй критерий оценивает политику и стратегию организации в области качества. Третий критерий оценивает политику организации в отношении своего персонала и ее согласование со стратегией организации.

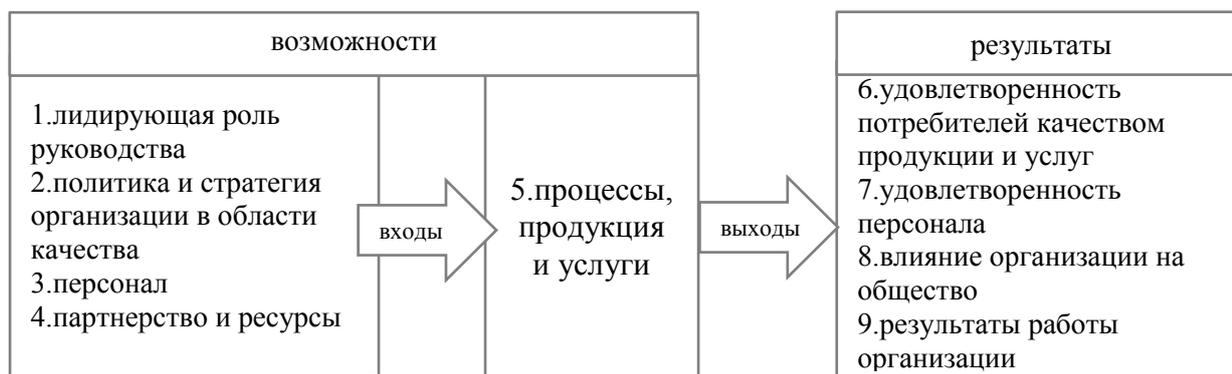


Рис. 1. Схема формирования оценочных критериев по модели EFQM

Четвертый критерий направлен на оценку партнерства и ресурсов, взаимодействия с внешними поставщиками. Пятый критерий позволяет оценить использование для реализации стратегии компании, по продвижению на рынок продукции и услуг, а также послепродажной деятельности.

Оставшиеся четыре критерия оценивают достигнутые результаты компании. Шестой критерий оценивает сложившееся восприятие потребителями компании ее продукции (удовлетворенность потребителей), дающей. Седьмой критерий оценивает удовлетворенность персонала организации. Восьмой критерий производит оценку результатов влияния организации на общество. Завершающий девятый критерий, который также как и шестой критерий имеет больший вес, чем остальные критерии, это характеризует комплексную оценку работы организации, включающую в себя финансовые и имиджевые показатели результатов деятельности.

В Таблице 1 приведены обозначения критериев модели и максимальные баллы.

Цель данной модели – дать объективную, всестороннюю оценку организации. Критерии, по которым оценивается организация, не должны дублировать друг друга.

Таблица 1 Наименования критериев, условные обозначения и максимальные баллы

Возможности		500	Результаты		500
x1	лидирующая роль руководства	100	x6	удовлетворенность потребителей качеством продукции и услуг	150
x2	политика и стратегия организации в области качества	100	x7	удовлетворенность персонала	100
x3	персонал	100	x8	влияние организации на общество	100
x4	партнерство и ресурсы	100	x9	результаты работы организации	150
x5	процессы, продукция и услуги	100			

Согласно матрице парных коэффициентов корреляции оценок критериев промышленных предприятий, представленной в таблице 2, практически между всеми экспертными критериями наблюдается прямая тесная линейная связь.

Таблица 2 Коррелограмма оценок экспертов по предприятиям промышленности

	Y	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
Y	1									
x1	0,96	1								
x2	0,96	0,91	1							
x3	0,95	0,86	0,91	1						
x4	0,95	0,92	0,93	0,87	1					
x5	0,94	0,89	0,88	0,89	0,91	1				
x6	0,89	0,87	0,88	0,87	0,90	0,76	1			
x7	0,77	0,64	0,75	0,79	0,62	0,70	0,59	1		
x8	0,91	0,87	0,88	0,83	0,83	0,86	0,73	0,74	1	
x9	0,90	0,91	0,81	0,82	0,84	0,88	0,72	0,60	0,83	1

Исключение составляет лишь седьмой критерий – удовлетворенность персонала, связь которого с большинством критериев меньше и оценивается как заметная прямая линейная связь.

Проведем анализ использования модели премии Правительства РФ в области качества для образовательных учреждений. Предпосылкой исследования послужило утверждение о том, что критерии, используемые в модели, должны давать полную и всестороннюю оценку компании и не использовать одни и те же аргументы, факты и события при оценке по различным критериям.

Линейная зависимость между оценками экспертов по критериям модели оценивается с помощью матрицы коэффициентов корреляции, представленной в таблице 3.

Таблица 3 Коррелограмма оценок критериев по образовательным учреждениям

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
x1	1								
x2	0,84	1,00							
x3	0,86	0,84	1,00						
x4	0,90	0,93	0,84	1,00					
x5	0,86	0,94	0,85	0,97	1,00				
x6	0,77	0,78	0,82	0,83	0,78	1,00			
x7	0,83	0,96	0,84	0,92	0,93	0,83	1,00		
x8	0,82	0,76	0,66	0,83	0,79	0,55	0,75	1,00	
x9	0,80	0,83	0,84	0,89	0,88	0,87	0,83	0,62	1

Согласно таблице 3 все оценки экспертов по всем девяти критериям имеют прямую, тесную связь между собой, кроме критериев восьмого с третьим, шестым и девятым, связь между которыми немного меньше и оценивается как заметная. Следовательно, оценка влияния образовательного учреждения на общество является наиболее независимой от оценок остальных критериев.

В условиях постоянно изменяющегося мира, когда появляются новые возможности и угрозы необходимо также постоянно пересматривать и совершенствовать систему оценок по моделям делового превосходства. В зарубежных исследованиях предлагаются более совершенные алгоритмы оценивания компаний, используя инструменты теории нечетких множеств (Аудин, S., Kahraman, C. и Кааа, I., 2012) [1].

Произведенный нами анализ экспертных оценок критериев модели премии по качеству Правительства РФ показал, что используемая модель для предприятий промышленного сектора позволяет провести всестороннюю независимую оценку деятельности компании, начиная от системы стратегического планирования и заканчивая оценкой финансовых результатов необходимостью уточнения критерия 1 «Лидирующая роль руководства», критерия 3 «Персонал» и критерия 6 «Удовлетворенность потребителей».

Оценки по критериям для образовательных учреждений показали необходимость

модернизации модели качества Правительства РФ. Специфика деятельности приводит к тому, что выделенные критерии повторно оценивают информацию. Понятие потребители услуг образовательных учреждений часто аналогично понятиям партнеров, ресурсов, процессам и взаимодействию компании с обществом [4]. Также понятие персонал образовательного учреждения является лидером, партнером и ресурсом компании. Близость этих понятий подтверждается высокими значениями частных коэффициентов корреляции. Модель премии Правительства РФ по качеству нуждается в доработке и усовершенствовании критериев для того, чтобы она отвечала требованиям независимости оценок и всестороннего анализа деятельности.

Список литературы

1. Aydin, S., Kahraman, C. and Kaya, I., 2012. A new fuzzy multicriteria decision making approach: An application for European Quality Award assessment. *Knowledge-Based Systems*, 32, pp. 37-46.
2. Evans J, Lindsay W (2009) *Managing for quality and performance excellence*. South-Western CengageLearning, Mason
3. Lee, D.H. and Lee, D.H., 2013. A comparative study of quality awards: Evolving criteria and research. *Service Business*, 7(3), pp. 347-362.
4. Салимова Т.А. Совершенствование деятельности вуза на основе самооценки по моделям премий конкурсов в области качества // *Экология человека*. 2009. № 9. С. 46-49.
5. <http://www.vniis.ru/qualityaward>

05.22.10

А.В. Базанов к.т.н., В.И. Бауэр к.т.н., Е.С. Козин к.т.н., М.В. Немков к.т.н.

ФГБОУ ВПО Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
Тюмень, varnack0411@mail.ru

А.А. Мухортов,

АО «Транснефть-Сибирь», г. Тюмень

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В НЕФТЕПРОВОДНОЙ ОТРАСЛИ

В статье обоснована необходимость реализации оптимального подхода к технической эксплуатации автомобилей и специальной техники для каждого территориального управления магистральных нефтепроводов. По представленному перечню факторов разработана классификация управлений магистральных нефтепроводов с применением метода кластерного анализа.

Ключевые слова: эксплуатация автомобилей, спецтехника, магистральный нефтепровод.

В настоящее время в организациях по добыче и транспортировке углеводородов сложилась совокупность регламентов и устоявшихся производственных решений, отражающих потребность в транспортных средствах и специальной технике для структурных подразделений. Нередко они противоречат друг другу. Как правило, каждая организация имеет разветвленную пространственную структуру. АК Транснефть подразделяется на несколько региональных акционерных обществ (ОАО МН). Каждое ОАО МН включает в себя несколько территориальных управлений магистральных нефтепроводов (УМН). УМН, принадлежащие АО «Транснефть-Сибирь», расположены от сложных климатических условий ЯНАО до умеренного климата юга Тюменской области (рис.1).

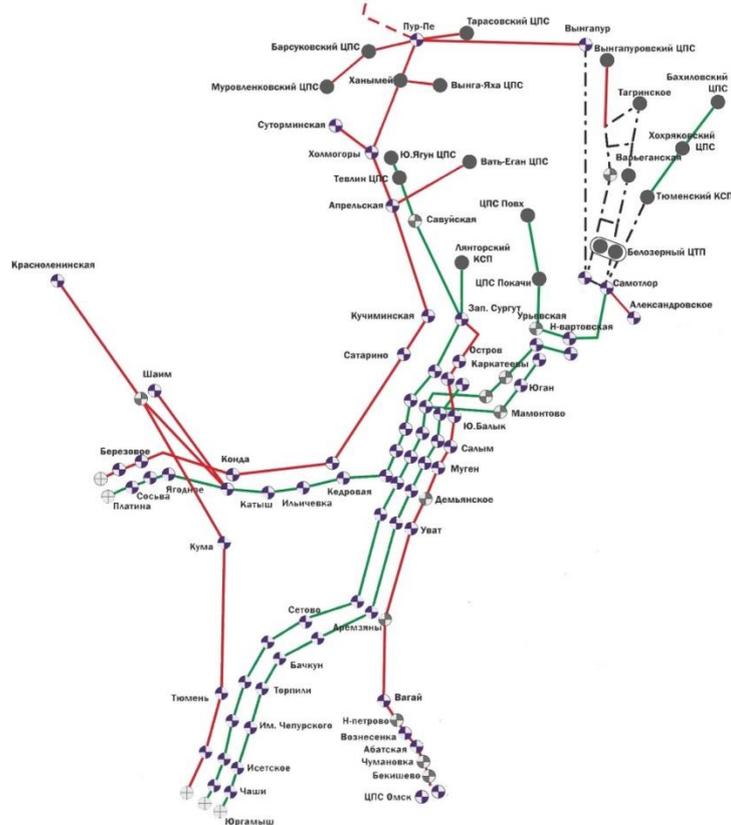


Рис. 1 - Карта пролегания магистральных нефтепроводов Западной Сибири, входящих в АО Транснефть-Сибирь [1]. Кружками на карте обозначены линейные производственные диспетчерские станции (ЛПДС) и нефтеперекачивающие станции (НПС)

При этом смежные по иерархии подразделения могут выполнять различные объемы работ и иметь разное количество закрепленных за ними производственных объектов (по количеству, протяженности и т.п.). Поэтому производственная необходимость требует реализовывать по отношению к структурным подразделениям различные подходы к эксплуатации техники, к обеспечению техникой, оборудованием, запасными частями, кадрами. Однако нормативная база предусматривает единые нормы комплектации структурных подразделений без учета различий в природно-климатических, производственно-технологических условиях, особенностей транспортной инфраструктуры регионов осуществления их деятельности. Лишь немногие из вышеперечисленных факторов в той или иной степени учитываются в регламенте [2]

В частности, в виде примечаний упоминается необходимость варьирования потребности в технике от наличия заболоченных территорий, превышении расстояний между крайними подразделениями, от наличия дорог низших категорий.

Сравнение двух УМН, проведенное на этапе анализа состояния вопроса, позволило выявить существенные различия, которые оказывают влияние на техническую эксплуатацию автомобилей и специальной техники (табл. 1).

Таблица 1 - Сравнение УМН юга и севера Тюменской области по ряду факторов

Нижневартовское УМН	Ишимское УМН
1) Протяженность нефтепроводов: 917 км 2) Количество нефтепроводов: 7 3) Общая протяженность автодорог: с твердым покрытием - 825 километров 4) Грунты: мерзлые суглинистые, супесные 5) Круглогодичный доступ: нет	1) Протяженность нефтепроводов: 797 км 2) Количество нефтепроводов: 2 3) Общая протяженность автодорог: С твердым покрытием - 482 км. 4) Грунты: суглинистые 5) Круглогодичный доступ: да

В связи с этим была выдвинута гипотеза: для каждого территориального подразделения (УМН) должен существовать оптимальный подход к технической эксплуатации автомобилей и специальной техники.

Проверка гипотезы требует формирования перечня факторов (критериев) сравнения, сбора исходных данных по каждому фактору и проведения работ по их систематизации и классификации.

Следует отметить, что исследования совпадают с потребностью компании АК Транснефть по актуализации перечня регламентов по нормированию потребности в технике.

Было выявлено, что каждое УМН имеет разное количество трубопроводов различных наименований. При этом на различных участках трубопроводы могут иметь различные диаметры. В таблице 2 представлены данные по длине различных наименований нефтепроводов, входящих в Тюменское УМН.

Таблица 2 - Протяженность и диаметр нефтепроводов, входящих в Тюменское УМН

Наименование МН	Длина МН(км)	Диаметр МН(мм)
НКК	349	1220
Т-Ю	252	530
УБКУА	345	1220
Ш-Т	144	530

Суммирование протяженности трубопроводов различных наименований позволило определить, что общая длина нефтепроводов в разных УМН неодинакова (табл. 3).

Таблица 3 - Суммарная протяженность трубопроводов в УМН

Наименование УМН	Протяженность нефтепроводов, км
Нижневартовское УМН	917
Ишимское УМН	797
Урайское УМН	1793
Нефтеюганское УМН	863
Сургутское УМН	830
Тобольское УМН	1074
Тюменское УМН	1118
Ноябрьское УМН	693

Можно выделить протяженные УМН (Урайское) и УМН с малой протяженностью МН (Ноябрьское). Очевидно, что для УМН значительной протяженности вопросы транспортной логистики, эксплуатации техники будут осложнены.

Одной из производственных проблем является доставка техники непосредственно в зону пролегания нефтепровода, поскольку природно-климатические условия не всегда могут обеспечить беспрепятственный доступ к нефтепроводу [3]. Большие объемы работ по ремонтам нефтепроводов производятся в зимний период, что связано с замерзанием заболоченных и обводненных территорий. Поэтому важным фактором с точки зрения транспортной доступности является тип почв, преобладающий на территории УМН.

Анализ источников [4] позволил выделить почвы, обеспечивающие движение транспорта и проведение земляных работ на трубопроводе, и почвы, осложняющие реализацию этих процессов (табл. 4).

Таблица 4 - Преобладающие типы почв по УМН, входящих в состав АО «Транснефть-Сибирь»

Территория	Входящие УМН	Преобладающий тип почв
Юг Тюменской области	Тюменское, Ишимское, Тобольское (часть)	Черноземные (вариации), дерново-подзолистые
Север Тюменской области	Урайское, Нижневартовское, Нефтеюганское, Сургутское, Ноябрьское	Подзолистые, подзолисто-болотные, мерзлотно-таежные

Было выявлено, что по количеству автосервисных центров (рис. 2) и по общей протяженности и разветвленности дорожной сети транспортная инфраструктура южных районов Тюменской и Свердловской областей более развита, чем северных районов этих же областей.

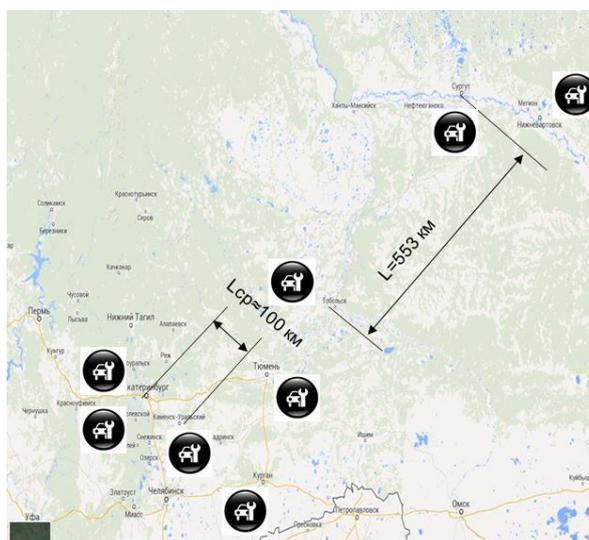


Рис. 2 - Средние расстояние между автосервисными центрами и сеть автодорог в северных и южных районах Западной Сибири [5]

По результатам проведения предварительных исследований на основе анализа информации и экспертных оценок был сформирован перечень факторов классификации УМН, влияющих на техническую эксплуатацию автомобилей: количество ЛПДС в УМН (более подробно о значении баз при ЛПДС для технической эксплуатации автомобилей рассмотрено в [6]), суммарная протяженность нефтепроводов, проходящих через УМН, количество МН на данном участке, средние расстояния между ЛПДС (НПС), тип почв, преобладающий на данной территории, преобладающая категория дорог, развитость инфраструктуры в регионе.

В качестве метода обработки исходных данных было решено использовать метод кластерного анализа данных.

Для проведения анализа все исходные значения факторов были стандартизованы. Методом кластерного анализа [7,8] была проведена классификация УМН, входящих в АО «Транснефть-Сибирь». Результаты анализа представлены на рис. 3.

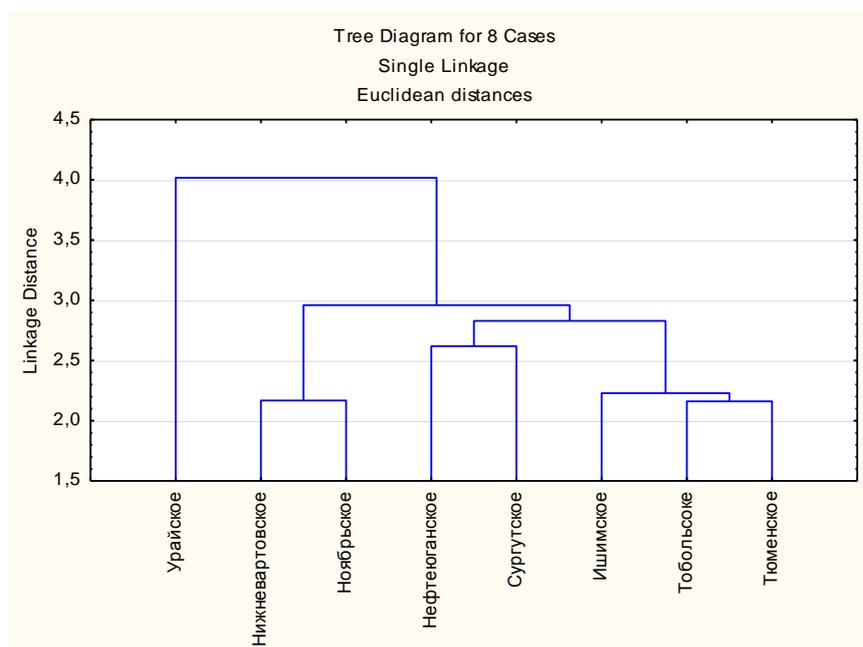


Рис. 3 - Граф классификации РНУ (УМН) по методу кластерного анализа

Как видно из рис. 4, выделяется наличие трех классов УМН. Уральское УМН можно отнести к первому классу, Нефтеюганское и Сургутское – ко второму, а остальные УМН – к третьему.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что по рассматриваемым параметрам в одном ОАО МН можно выделить несколько разных классов УМН. Очевидно, что в рамках каждого класса следует реализовывать различные подходы к технической эксплуатации автомобилей и технологических машин.

Таблица 5 - Пример нового регламента по потребности в технике

№ п.п	Наименование (тип) технического средства Назначение (закрепление) техники	Ед.изм.	Кол-во для УМН класса		
			I	II	III
	Основные технические средства				
1.1	Марка, модель транспортного средства (машины). Например, автомобиль грузовой УРАЛ или КАМАЗ Назначение транспортного средства или машины (для каких нужд используется). Например, для доставки МТР	Шт.	4*	2*	1*

* - при различных значениях влияющих факторов потребность может быть изменена

Планируемым практическим результатом исследований является обновленный регламент по оснащению подразделений ОАО МН техникой, который учитывал бы различия между классами УМН (табл. 5).

Таким образом, в результате проведенных предварительных расчетов были достигнуты следующие результаты:

1. Определены факторы, которые следует использовать в качестве основы для проведения классификации УМН.

2. Сделана предварительная классификация УМН по предложенным факторам. В рамках АО «Транснефть-Сибирь» сформировано 3 класса УМН.

3. Подтверждена гипотеза о том, что производственные и территориальные условия функционирования РНУ (УМН) предопределяют использование различных подходов к технической эксплуатации автомобилей и технологических машин.

Список литературы

1. Официальный сайт АО Транснефть-Сибирь (ОАО «Сибнефтепровод») <http://sibnefteprovod.transneft.ru/>
2. РД-03.220.01-КТН-123-10 «Типовой таблицей технической оснащенности транспортными средствами и специальной техникой организаций системы «Транснефть».
3. Мерданов, Ш.М. Научные основы создания комплексов машин для строительства временных зимних дорог в районах Севера и Сибири: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10 / Мерданов, Шахбуба Магомедкеримович. – Тюмень, 2010. – 327 с.
4. Почвенная карта СССР. Н.Н. Розов, В.Я. Марусова, составлено и оформлено НРКЧ ГУГК, февраль 1962 г.
5. Карты Google <https://www.google.ru/maps>
6. Козин, Е.С. Оптимизация производственно-технической базы по техническому обслуживанию и ремонту спецтехники при ремонте магистральных нефтепроводов / Е.С. Козин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки – 2013. – №5. – С. 83-92.
7. Электронный учебник <http://www.statsoft.ru/home/textbook>
8. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 607 с.

05.22.10

¹А.Ю. Барыкин к.т.н., ²Р.Р. Басыров к.т.н., ²М.М. Мухаметдинов к.т.н.

¹НЧИ ФГАОУ ВПО «Казанский (Поволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение, каф. «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
Набережные Челны, alexs-jb@rambler.ru

²НЧИ ФГАОУ ВПО «Казанский (Поволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение, каф. «Автомобили, автомобильные двигатели и дизайн»,
Набережные Челны, basr@mail.ru, m-mm@yandex.ru

К ВОПРОСУ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИВОДА КОЛЁС АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ

В работе дана оценка влияния факторов, определяющих условия эксплуатации грузовых автомобилей КАМАЗ и показана необходимость их системного анализа. Приведены примеры неисправностей и отказов деталей привода колёс, подтверждающие важность учёта воздействия различных эксплуатационных факторов. Представлены двухпараметрические зависимости конструктивных и эксплуатационных параметров привода колёс от условий эксплуатации.

Ключевые слова: *системный подход, привод колёс, главная передача, дифференциал.*

Сложность эксплуатации отечественных автомобилей является постоянным фактором, определяющим комплекс воздействия динамических и циклических нагрузок при движении по твёрдым дорогам, деформируемым грунтам и бездорожью. Согласно требованиям производителя [1], автомобили КАМАЗ рассчитаны на безотказную эксплуатацию в различных климатических зонах, в диапазоне температур воздуха $-45...+40$ °С для районов и стран с умеренным климатом, относительной влажности воздуха до 75% и запылённости воздуха до 1 г/м^3 .

Традиционным фактором, усложняющим оценку нагруженности трансмиссии и ходовой части, является воздействие водителя, более широкое, чем на ряде иностранных прототипов автомобилей разного класса. Очевидно, что несвоевременное блокирование межосевого или межколёсного дифференциалов приведёт к возникновению циркуляции мощности, дополнительному нагружению узлов трансмиссии и сокращению срока службы деталей. Простота конструкции ручной принудительной блокировки с помощью зубчатых муфт и снижение стоимости механизма блокировки в итоге могут привести к существенным затратам на внеплановый ремонт и замену деталей трансмиссии.

Для снижения издержек, многократно возрастающих по мере приближения к стадиям эксплуатации и технического обслуживания автомобильных узлов и систем, необходимо уже при разработке перспективных конструкций учитывать весь комплекс воздействий водителя, окружающей среды, силового агрегата и агрегатов шасси. В данном случае следует принять за основу исследования методологию взаимного влияния весомых внешних и внутренних факторов воздействия на автомобиль, входящих в систему «водитель – автомобиль – дорога – среда».

Наиболее существенным этапом исследования является выбор той или иной методики ранжирования внешних и внутренних факторов, оказывающих весомое или малозначимое влияние на выходные параметры механизма привода колёс. Следует иметь в виду, что данное влияние не является неизменным как для различных конструкций, так и для одной и той же конструкции, находящейся в различном техническом состоянии, испытывающей неодинаковое воздействие со стороны водителя и т.п.

В ходе исследования авторами была разработана классификация внешних воздействий в системе, охватывающей все связи влияния на условия эксплуатации привода колёс грузового автомобиля:

1. **Водитель (слесарь-ремонтник).** Влияние различного персонала на эксплуатационные свойства привода колёс необходимо принимать во внимание потому, что, с одной стороны, водитель задаёт условия нагруженности автомобиля в целом и режимы работы привода колёс в частности; с другой стороны, слесарь-ремонтник, проводящий обслуживание данного автомобиля, в значительной степени определяет техническое состояние механизма.

2. **Автомобиль (системы и узлы автомобиля).** Влияние отдельного узла или автомобиля в целом необходимо принимать во внимание, когда речь идёт об отклонении заданного режима функционирования привода колёс вследствие нестационарной работы внешних узлов.

3. **Опорная поверхность.** В данном случае необходимо учитывать как конструктивно заданные уклоны и неровности, так и опорные препятствия, возникшие вследствие разрушения дорожного покрытия, либо являющиеся естественными для заданной пересечённой местности. Кроме того, существенное значение имеет склонность дорожного покрытия или преодолеваемого бездорожья к образованию пыльных взвесей.

4. **Среда движения.** Здесь существенное влияние имеет большинство факторов, связанных с погодными условиями и влияющих на свойства смазочных материалов, на нагруженность узлов, при значительных колебаниях факторов – на прочностные свойства деталей привода.

Для проверки теоретических положений проводились стендовые испытания привода колёс автомобилей КАМАЗ, в результате которых получены важные экспериментальные данные, способствующие уточнению связей рассматриваемой системы «Водитель (слесарь-ремонтник) - автомобиль (системы и узлы автомобиля) - опорная поверхность - среда движения».

Была, в частности, произведена оценка влияния эксплуатационных факторов с имитацией условий воздействия при стендовых испытаниях главной передачи [2]. В ходе стендовых испытаний межосевых и межколёсных дифференциалов было установлена взаимосвязь различных системных параметров и оценочных критериев, прежде всего коэффициента блокировки [3]. Такие исследования, благодаря комплексному учёту системных факторов и их воспроизведению теми или иными способами в эксперименте, дали возможность определить показатели долговечности и безотказности узлов в реальных условиях эксплуатации на основании данных стендовых испытаний.

Например, моделирование нагружения в дорожных условиях при интенсивном износе деталей и загрязнении масла осуществлялось за счёт примеси песка до 0,3...0,4 % от объема масла. Данный диапазон относительной доли примеси основан на сведениях эксплуатационных испытаний (данные проб масла на заданном пробеге) [4].

На рис. 1. представлены результаты обработки данных стендовых испытаний главной передачи автомобиля КАМАЗ в виде двухфакторной зависимости скорости изнашивания подшипника U в условиях загрязнения, изменения температуры t и частоты вращения главной передачи n .

Было проведено исследование фрикционных свойств межосевого дифференциала автомобиля КАМАЗ с учётом воздействия различных системных связей. Установлено влияние степени износа поверхностей пар трения и температурного режима эксплуатации на момент трения и коэффициент блокировки. На рис. 2 представлена двухпараметрическая зависимость коэффициента блокировки от пробега l и температуры t деталей.

Полученные экспериментальные данные и разработанные на их основе расчётные методики позволяют вносить рациональные изменения в конструкцию привода колёс ещё на стадии проектирования.

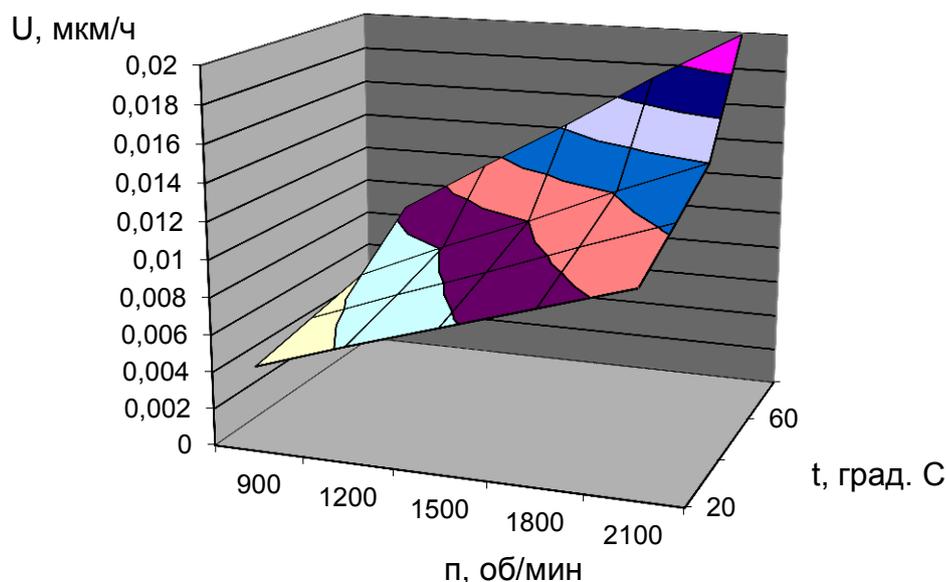


Рис. 1 - Зависимость скорости абразивного износа подшипника главной передачи автомобиля КАМАЗ от частоты вращения внутреннего кольца и температуры

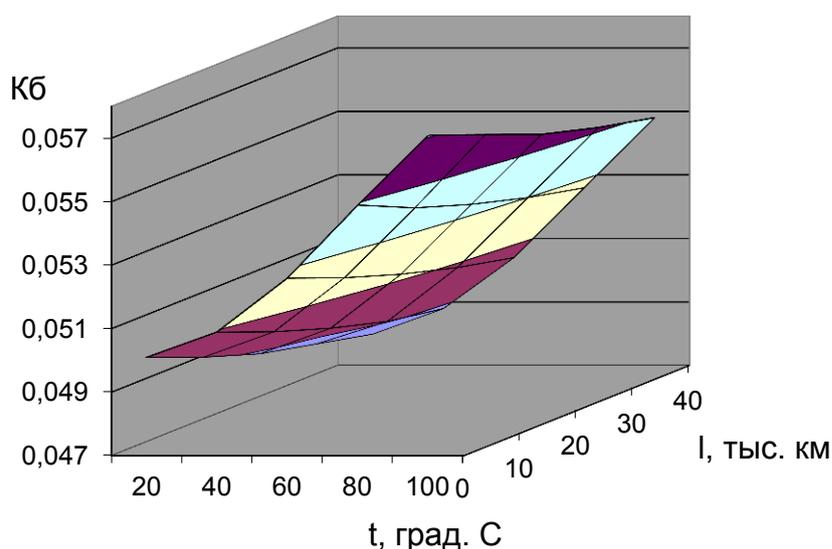


Рис. 2 - Зависимость коэффициента блокировки межосевого дифференциала малого трения от температуры и износа деталей

Кроме того, информация о влиянии различных эксплуатационных факторов на степень износа и вероятность отказа деталей привода колёс позволяет осуществлять необходимую корректировку сроков технического обслуживания и ремонта.

Список литературы

1. КАМАЗ 5360, 5460, 6460, 6520. Руководство по эксплуатации / Сост. Нешумова Т.Н. Под общ. ред. Васина В.В. - Набережные Челны, ОАО «КАМАЗ», 2003.
2. Мухаметдинов М.М. Исследование интенсивности падения преднатяга подшипников качения главной передачи автомобиля КамАЗ // В сб. «Машиностроение: проектирование, конструирование, расчёт и технологии ремонта и производства». Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск, ИжГТУ, 2012. С. 113...114.
3. Барыкин А.Ю. Основы теории современных дифференциалов. - Набережные Челны: КамПИ, 2001. - 277 с.
4. Мухаметдинов М.М. Оптимизация конструктивных параметров подшипниковых узлов главных передач большегрузных автомобилей. Дисс. ... канд. техн. наук. – М.: МАМИ, 1994. – 198 с.

05.13.19

С.С. Беляев, 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, belss751@rambler.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ UMTS КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ

В статье рассматривается задача прогнозирования состояния каналов передачи данных с коммутацией пакетов сотовых сетей мобильной связи третьего поколения. Предложена прогнозная модель, основанная на корреляции между параметрами радиоканала и показателями процесса информационного обмена. Приводятся результаты экспериментального исследования, позволяющие оценить параметры модели для ее практического применения.

Ключевые слова: прогнозирование, система управления, информационная безопасность, сотовые сети, моделирование.

При построении системы удаленного мониторинга и управления различными мобильными объектами все чаще применяют каналы передачи данных образованные с использованием средств сотовой связи. На практике для этого, как правило, используют возможности сетей мобильной связи третьего поколения, также известных как сети универсальной системы мобильной связи или сети UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

Такой подход позволяет решить проблему физической реализации канала связи с объектом мониторинга и управления, для которого требуется высокая степень мобильности [1]. При этом одной из важнейших задач при проектировании систем управления является обеспечение надежности и безопасности процесса управления.

Существует ряд проблем связанных с устойчивостью работы UMTS канала передачи данных с коммутацией пакетов, обусловленных как особенностями реализации систем сотовой связи, так и подвижностью объекта управления [2]. В данном контексте возникают такие проблемы информационной безопасности процесса управления как доступность объекта управления, целостность информационных сообщений, а так же актуальность управляющих сигналов и информации о состоянии объекта управления. В качестве факторов, повышающих риски информационной безопасности процесса управления можно выделить возрастание дисперсии интервала времени, затрачиваемого информационным пакетом на прохождение по каналу связи (возрастание джиттера), а так же возникновение кратковременных периодов неработоспособности канала передачи данных (критических состояний канала).

В условиях невозможности прямого воздействия на канал передачи данных с целью повышения его надежности и безопасности, следует сосредоточить внимание на прогнозировании его состояния. Один из подходов к решению такой задачи основывается на закономерностях между изменением параметров состояния сети радиодоступа и показателями процесса информационного обмена. Конечному пользователю доступны различные мощностные параметры состояния сети, позволяющие косвенно судить о радиоусловиях, в которых находится его мобильное оборудование. Это, в частности, уровень мощности принимаемого сигнала RSSI (Received Signal Strength Indication), мощность принимаемого сигнала кода соты RSCP (Received Signal Code Power), мощность передачи

TxPwr (Transmission Power) и другие. С другой стороны, в качестве показателей процесса информационного обмена могут выступать скорость информационного обмена, количество потерь пакетов с информацией, задержка передачи пакетов.

Ранее авторами данной статьи был поставлен эксперимент, описанный в [3], результаты которого указывают на закономерность между мощностными параметрами сети и показателями информационного обмена. В соответствии с результатами эксперимента, радиоканал можно упрощенно промоделировать как объект с двумя состояниями: 1 – нормальное состояние (передача данных доступна) и 2 – критическое состояние (передача данных временно недоступна). При этом величина

$$T(t) = \frac{dTxPwr(t)}{dt} - \frac{d(RSSI(t) + RSCP(t))}{dt}$$

основанная на динамике параметров радиоканала может служить индикатором возможности вероятной смены состояния. Ее положительное значение служит сигналом к возможному переходу радиоканала в состояние 2 из состояния 1, а отрицательное – к переходу в состояние 1 из состояния 2, причем, чем больше значение модуля этой величины, тем более вероятен переход[3].

Для формирования метода прогнозирования качества UMTS канала необходимо используя описанный выше результат построить вероятностную модель, позволяющую получить оперативный прогноз состояния канала. Вычислимость величины T в любой момент времени t позволяет развить модель радиоканала до четырех состояний, дополнив ее состояниями ожидания перехода из состояния 1 в состояние 2 и обратно. Переходы в такие промежуточные состояния осуществляются на основании вычисленного значения T , соотнесенного с порогами перехода K_1 и K_2 , которые для разных уровней вероятности можно получить на основе статистической обработки экспериментальных данных. Структуру описываемой прогнозной модели отражает Рис. 1.

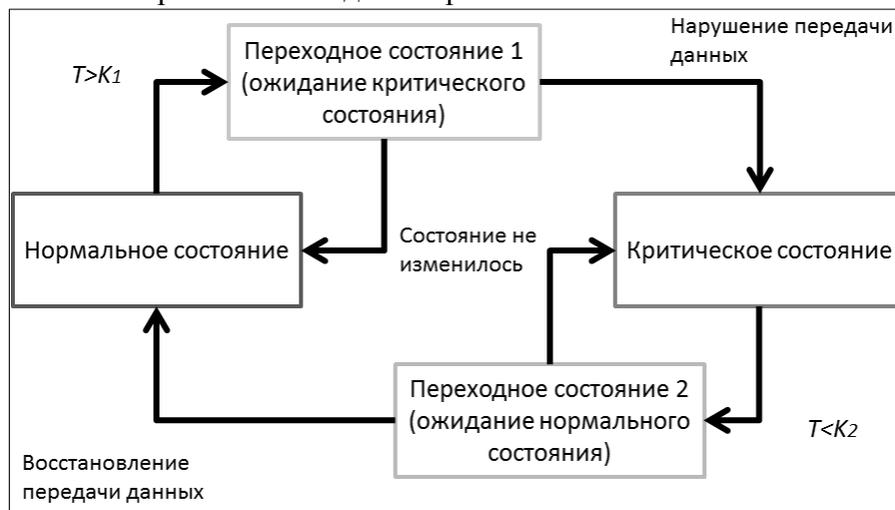


Рис. 1– Структура прогнозной модели состояния UMTS канала

Для оценки численного значения порогов K_1 и K_2 была реализована экспериментальная система передачи данных по UMTS каналу, аналогичная описанной в [3], состоящая из подвижного и неподвижного хостов. Между хостами непрерывно происходит процесс информационного обмена, параметры которого фиксируются наряду с мощностными показателями сети. С помощью этой системы в условиях постоянного перемещения подвижного хоста была накоплена статистическая база (общее время эксперимента 270 минут), на основании обработки которой произведена оценка значений порогов K_1 и K_2 , а так же вероятность перехода из переходного состояния в ожидаемое в зависимости от времени ожидания. Результаты обработки статистической базы представлены ниже в Таблице и на Рис 2.

Таблица – Результаты оценки значений порогов перехода

Вероятность смены состояния	K_1 (дБм/с)	K_2 (дБм/с)
0,5	4,25	-6,3
0,7	6,9	-8,5
0,8	10,8	-11,1
0,9	13,1	-12,9
0,95	15,4	-14,6
0,99	17,3	-16,1

В Таблице 1 видно, что пороговые значения K_1 и K_2 , для одной и той же вероятности смены состояния в первом приближении достаточно близки по модулю, следовательно, при моделировании для упрощения можно положить их равными по модулю одной и той же величине (например, меньшей из двух), и противоположными по знаку.

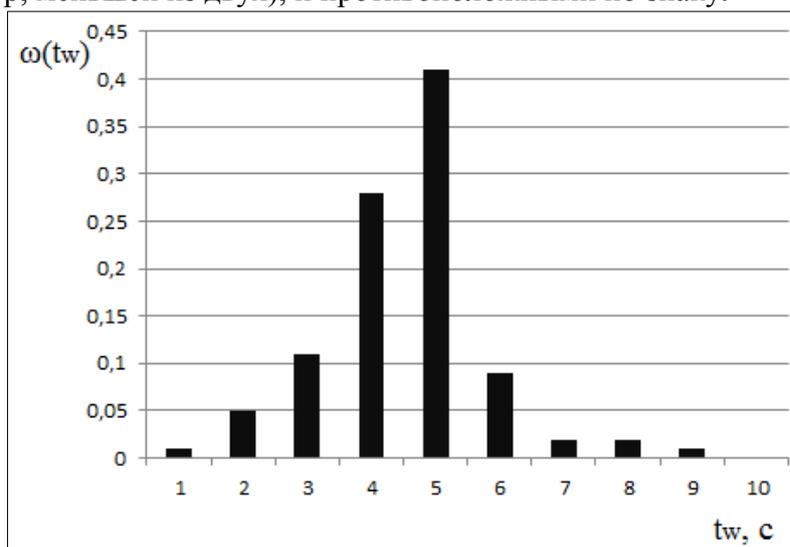


Рис. 2– Гистограмма оценки плотности вероятности перехода в ожидаемое состояние

На Рис. 2 приведена гистограмма плотности условной вероятности ω перехода в ожидаемое состояние из состояния ожидания за время t_w , при условии, что такой переход произошел. Очевидно, что на практике можно положить время нахождения в состоянии ожидания перехода равным 6 секундам, что соответствует условной вероятности перехода 0,95.

Таким образом, предлагаемый метод состоит в отслеживании в реальном времени мощностных показателей сети UMTS, таких как TxPwr, RSCP и RSSI и формировании на их основе заключения о том, в каком состоянии находится канал передачи данных в соответствии с прогнозной моделью. Результаты такого моделирования могут быть применены в алгоритмах управления мобильными объектами, роботами и беспилотными аппаратами, в том числе, при оперативном планировании использования системой управления канала передачи данных. В частности, на их основе можно принять решение о применении превентивных мер, позволяющих минимизировать возможные последствия реализации рисков информационной безопасности процесса управления.

Список литературы

1. Гельгор А.Л., Попов Е.А. Сотовые сети мобильной связи стандарта UMTS: учеб. Пособие. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2010. – С. 227.
2. Кааранен Х., Ахтиайнен А. и др. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. – М.: Техносфера, 2007. – С. 464.
3. Беляев С.С., Жигулин Г.П. Повышение информационной безопасности процессов управления мобильными объектами в системах управления на основе сетей сотовой связи третьего поколения // Известия ЮФУ. – Таганрог: Технологический институт Южного федерального университета, 2014. – С. 248-256.

05.27.01

Н.Н. Беспалов к.т.н., Ю.В. Горячкин к.т.н., М.В. Ильин к.т.н.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва, кафедра электроники и нанoeлектроники,
Саранск, ka-mgu@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВКЛЮЧЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ТИРИСТОРЕ

В статье рассматриваются результаты исследования зависимостей линейной скорости распространения включенного состояния от плотности тока в открытом состоянии тиристорov при вариации величин их электрофизических и геометрических параметров. Исследования проведены на основе моделирования процесса включения тиристорov в программной среде Synopsys TCAD.

Ключевые слова: *тиристор, управляющий электрод, скорость распространения включенного состояния, плотность тока, моделирование, диаметр шунтов, электронно-дырочное рассеяние и Оже-рекомбинация, время жизни.*

В тиристорной $p-n-p-n$ -структуре (ТС) при переключении из закрытого состояния в открытое под влиянием тока управления наблюдается эффект локализации включенного состояния в области первоначального включения (ОПВ), формируемой вблизи управляющего электрода (УЭ), через которую начинает протекать ток в открытом состоянии i_T . Площадь ОПВ существенно зависит от величин электрофизических и геометрических параметров ТС и электрического режима включения [1, 2]. Под влиянием диффузионных и дрейфовых процессов в ОПВ в зависимости от текущей величины плотности тока в открытом состоянии j_T включенное состояние распространяется по площади ТС. Линейная скорость распространения включенного состояния (РВС) v в ТС зависит от величин её электрофизических параметров, параметров встроенных шунтов и плотности тока в открытом состоянии j_T и является переменной величиной во времени и пространстве. Время РВС по всей площади ТС в зависимости от различных факторов может изменяться в пределах от нескольких сот микросекунд до единиц миллисекунд. Это обуславливает локальное выделение электрических потерь в ТС, что повышает величины перепадов температуры ΔT_j в ней, а, следовательно, снижает надёжность тиристора. Таким образом, для минимизации этих динамических потерь при конструировании ТС требуется знание зависимости линейной скорости РВС от множества факторов.

Зависимость скорости РВС от плотности тока $v(j_T)$ обычно описывают степенной или, соответственно, логарифмической эмпирическими зависимостями [3–6]:

$$v(j_T) = A j_T^{1/n}, \quad (1)$$

$$v(j_T) = C_1 \ln j_T + C_2, \quad (2)$$

где A , n , C_1 и C_2 — константы. Эти зависимости получены экспериментальным путём на конкретных опытных образцах ТС. Причём из всех этих констант приводятся значения, только константы n , да и то в очень широком диапазоне от 2 до 6 [3, 5]. Понятно, что значения этих констант будут зависеть от величин электрофизических параметров ТС, и, прежде всего, от толщины n -базы и времени жизни носителей заряда, и геометрических параметров — плотности шунтировки и диаметра шунтов.

На основе разработанной программы моделирования процесса РВС в ТС [7] проведены исследования, которые показали, что использование эмпирических зависимостей (1) и (2) в практике оптимизации величин различных параметров ТС с целью минимизации

электрических потерь при включении является неоправданным из-за неопределённости величин констант для конкретных типов ТС. В связи с этим при оптимизации электрофизических параметров элементной базы, а также при конструировании новых типов тиристоров, особенно быстродействующих, актуальной становится задача определения зависимостей $v(j_T)$ в различных режимах включения для конкретных типов ТС.

В работе для решения данной задачи использовалось компьютерное моделирование процессов в ТС на основе пакета программ приборно-технологического моделирования Synopsys TCAD.

Современные тиристоры имеют разветвленный УЭ достаточно сложной конструкции. Промоделировать все процессы, протекающие в таком тиристоре, не представляется возможным. Однако из топологии ТС можно выделить элементарную ячейку, с помощью которой можно исследовать процесс РВС. На рис. 1 показан принцип выделения трехмерной элементарной ячейки для моделирования из топологии ТС на примере одной из простейших конструкций с разветвленным УЭ. Поскольку элементарная ячейка симметрична относительно вертикальной пунктирной линии, проходящей посередине, то для моделирования достаточно половины структуры, обведенной прямоугольником.

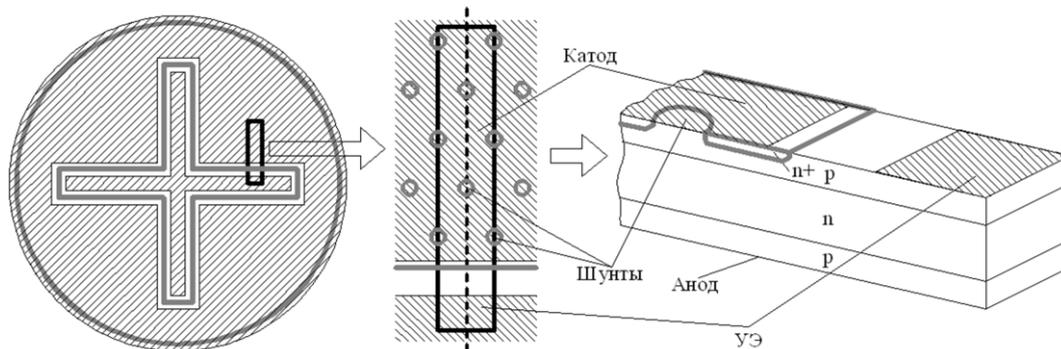


Рис. 1 – Пояснение принципа выделения элементарной ячейки для моделирования

Разработанная модель учитывает эффекты высокого уровня инжекции (электронно-дырочное рассеяние и Оже-рекомбинацию), влияние концентрации легирующей примеси на электрофизические параметры полупроводниковой структуры (подвижность, время жизни неравновесных носителей заряда, собственную концентрацию свободных носителей заряда) и эффекты, связанные с неоднородным по объему тепловым разогревом структуры под действием протекающих токов. Подробное описание этих эффектов приведено в [8].

В качестве объекта моделирования была использована ТС типичного быстродействующего импульсного силового тиристора, рассчитанного на величину повторяющегося напряжения в закрытом состоянии $U_{DM} = 2000$ В. При этом задавались следующие электрофизические и геометрические параметры ТС: удельное сопротивление n -базы $\rho_n = 80$ Ом·см; толщина n -базы $W_n = 280$ мкм; глубина коллекторного p - n -перехода $X_{jk} = 80$ мкм; глубина n^+ -эмиттера $X_{jэ} = 22$ мкм; время жизни дырок в n -базе $\tau_p = 4$ мкс; диаметр шунтов $D_{ш} = 200$ мкм; расстояние между шунтами $L_{ш-ш} = 800$ мкм.

Моделировались процессы в ТС при включении по цепи управления в резистивно-индуктивной силовой цепи, питаемой от источника постоянного напряжения $U_0 = 2000$ В. Амплитуда I_{GM} и скорость нарастания di_G/dt тока управления устанавливались равными, соответственно, 1 А и 1 А/мкс. Индуктивность силовой цепи выбиралась такой, чтобы время нарастания тока в открытом состоянии было не более 10 мкс. Амплитуда тока в открытом состоянии регулировалась величиной активного резистора силовой цепи.

В результате моделирования были получены распределения плотности тока по моделируемой элементарной ячейке ТС в заданные моменты времени относительно подачи импульса управления на УЭ, на основании которых были определены зависимости $v(j_T)$ при различных значениях геометрических и электрофизических параметров ТС.

На рис. 2 показаны графики зависимости $v(j_T)$ при изменении диаметра шунтов $D_{ш}$ и расстояния между шунтами $L_{ш-ш}$. На рис. 3 показаны графики зависимости $v(j_T)$ при изменении толщины n -базы W_n и времени жизни дырок в n -базе τ_p .

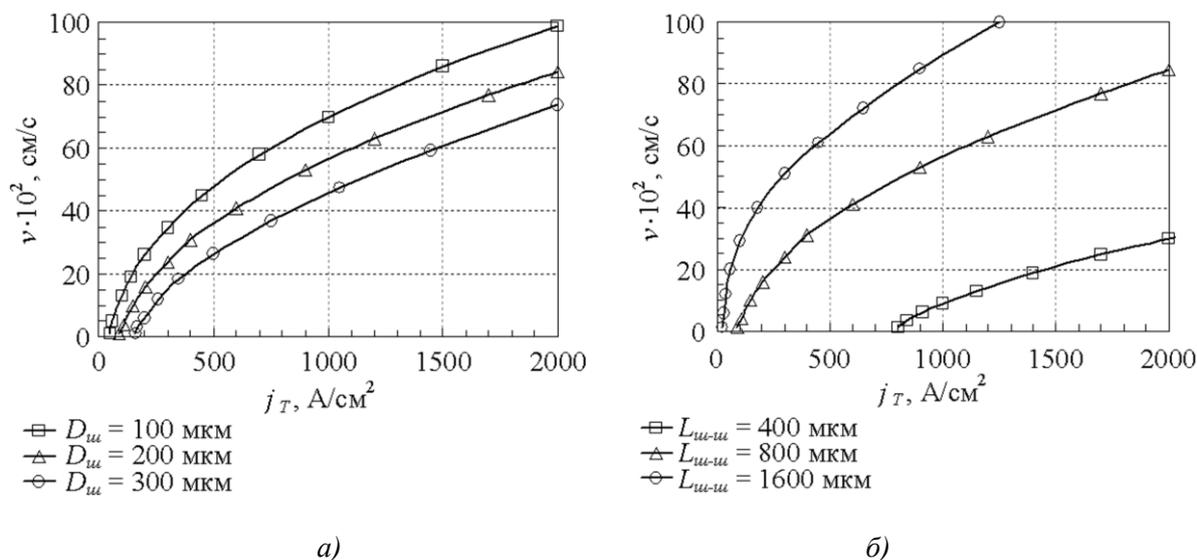


Рис. 2 – Графики зависимости $v(j_T)$ при изменении диаметра шунтов $D_{ш}$ (а) и расстояния между шунтами $L_{ш-ш}$ (б)

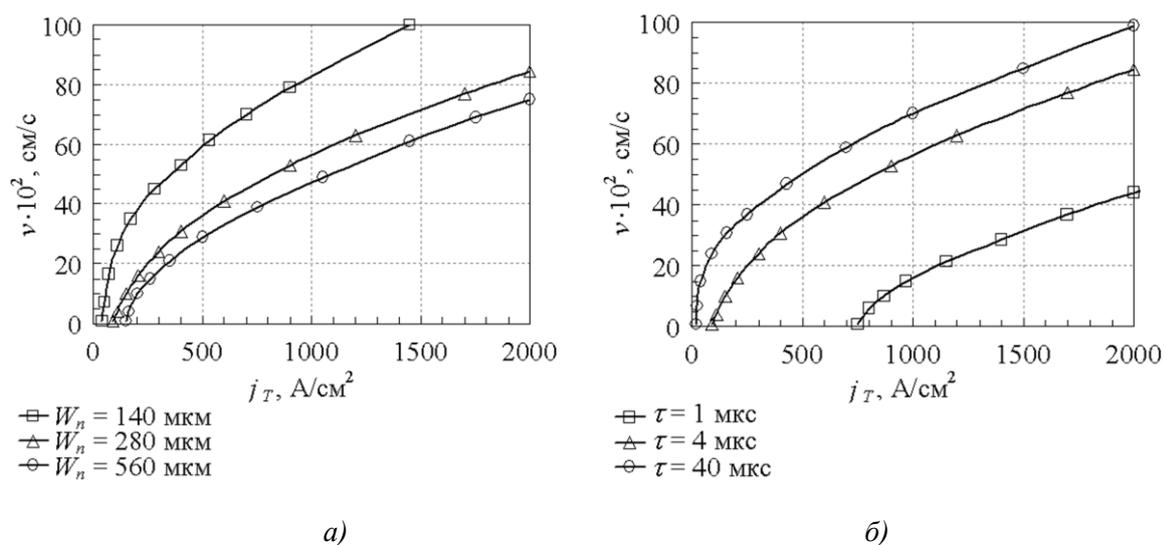


Рис. 3 – Графики зависимости $v(j_T)$ при изменении толщины n -базы W_n (а) и времени жизни дырок в n -базе τ_p (б)

Как видно из этих рисунков, зависимость $v(j_T)$ нелинейная и при уменьшении плотности тока j_T ниже некоторого значения скорость РВС v уменьшается до нуля. При этом значение плотности тока j_T может находиться в диапазоне от нескольких десятков до нескольких сотен ампер при изменении значений геометрических и электрофизических параметров ТС, что свидетельствует о нераспространении включенного состояния по площади ТС при этих условиях.

Таким образом, данные исследования показали, что при проектировании силовых тиристоров для объективной оценки динамических потерь в ТС на этапе РВС возможно применить предлагаемую методику оценки линейной скорости РВС от плотности тока в открытом состоянии, что позволит минимизировать эти потери в реальных ТС.

Список литературы

1. Беспалов Н.Н. Экспериментальное исследование площади начального включения и потерь в тиристорах при включении по цепи управления / Н.Н. Беспалов, Е.М. Гейфман // Электротехника, 1995. – № 1. – С. 19–21.
2. Беспалов Н.Н. Путь повышения надежности силовых тиристорov, использующихся при высокой скорости нарастания тока в открытом состоянии / Н.Н. Беспалов, Ю.М. Голембиовский, М.Н. Байбиков // Вестник СГТУ. – 2006. – № 6. – С. 74-79.
3. Абрамович М.И. Диоды и тиристоры в преобразовательных установках / М.И. Абрамович, В.М. Бабайлов, В.Е. Либер и др. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 432 с.
4. Блихер А. Физика тиристорov / А. Блихер; под ред. И.В. Грехова. – Л. : Энергоиздат, 1991. – 264 с.
5. Герлах В. Тиристоры / В. Герлах; пер. с нем. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 328 с.
6. Тейлор П. Расчет и проектирование тиристорov / П. Тейлор; пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
7. Беспалов Н.Н. Моделирование процесса распространения включенного состояния в силовом тиристоре / Н.Н. Беспалов, Е.М. Гейфман, С.В. Маслов // Материалы VIII международной конференции «АПЭП-2006» / Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2006. – Т. 7. – С. 98-100.
8. Горячкин Ю.В. Физико-топологическое моделирование в САПР TCAD / Ю.В. Горячкин, С.А. Нестеров, Б.П. Сурин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – 124 с.

05.22.07

А.П. Буйнов д.т.н., Д.С. Денисов

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buynov@mail.ru, ds.denisov7@yandex.ru.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ 2ЭС10 С РАЗЛИЧНОЙ МАРКОЙ БАНДАЖЕЙ

В статье приведены результаты сравнительного анализа износа бандажей колесных пар марки 2 и 4, различными профилями при эксплуатации электровозов 2ЭС10 на полигоне Свердловской и Западно-Сибирской железных дорогах.

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, бандаж, марка, износ, сравнение, анализ.*

Износ бандажей колесных пар электровозов зависит от многих факторов: действующей нагрузки (контактного давления колеса на рельс), температуры (контактной), вида и режима движения локомотива, агрессивного воздействия окружающей среды, физико-химической модификации поверхностей в процессе трения и износа, свойств смазочных материалов и методов смазывания, марки бандажа, конфигурация профиля бандажа, условий эксплуатации, серии локомотива, его технического состояния и многих других.

Важнейшим фактором, влияющим на износостойкость бандажей, является твердость. Для большинства марок сталей имеется прямая зависимость между твердостью и износостойкостью [1]. Для термически обработанных сталей износостойкость также возрастает с увеличением твердости, но в меньшей степени.

При исследовании Домбровским К.И. [2] изнашивания бандажей колесных пар локомотивов в эксплуатации было замечено, что минимальный износ бандажей и рельсов (рис. 1) получается при соотношении твердости бандажа и рельсов в пределах $H_B/H_P = 1-1,05$.

В эксплуатации до введения новых типов рельсов (Р65) были примерно одинаковые твердости как рельсов, так и бандажей, поэтому в соответствии с исследованиями Домбровского К.И. наблюдалось примерное равенство износа рельсов и бандажей по объему металла на единицу выполненной работы [3].

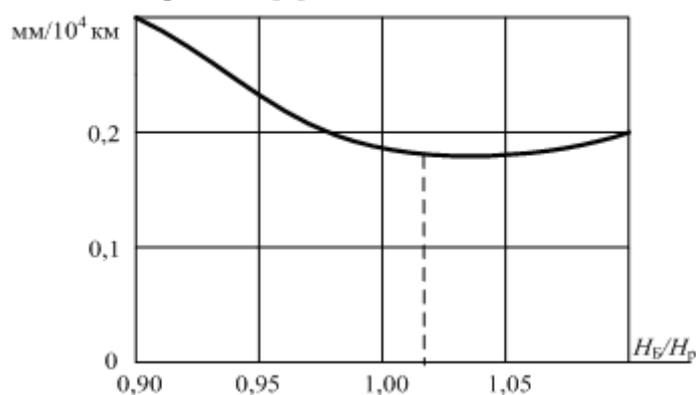


Рис. 1. Кривая зависимости изнашивания бандажа от отношения его твердости к твердости рельсов

Анализ [1] показывает, что необходимо довести твердость бандажей колесных пар тягового подвижного состава до твердости рельсов (380–400 НВ); учитывая при этом осевые нагрузки и применяемые режимы торможения. Однако при этом возникает другая проблема – восстановление конфигурации поверхности катания бандажа из-за наличия на последнем ползунов и выщербин [4]. При этом дефекты на «твердом» бандаже приводят к выходу из строя фрез и поломки резцов.

С целью снижения износа бандажей и рельсов необходимо, чтобы материал имел: минимальное содержание структурно свободного феррита, минимальные расстояния между ламелями цементита в перлите, мелкозернистую структуру [5, 6].

В ГОСТ 398-2010 указано две марки бандажей (марка 2 и марка 4), отличительные характеристики (свойства) которые указаны в таблице.

Таблица. Отличительные свойства марок стали бандажей

Марка стали	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Твердость, НВ	
		не менее		на глубине 20 мм	на гребне, не более
2	930–1110	10	14	не менее 269	321
4	не менее 1050	9	12	320–360	380

Какие из 2-х марок бандажей имеют наименьший износ колесных пар электровозов 2ЭС10? Для получения ответа на этот вопрос в Уральском государственном университете путей сообщения был выполнен сравнительный анализ на основании собранной в 2013–2014 годах статистической информации об изнашивании бандажей с различной конфигурацией (профиль ГОСТ 11018–2011, профиль ВНИИЖТ Р и профиль ДМетИ типа ЛР) колесных пар электровозов 2ЭС10, эксплуатирующихся на полигоне Свердловской и Западно-Сибирской железных дорогах.

Обработка собранной информации о значении контролируемых параметров производилась электронным прибором КИП-05 [1] с последующей обработкой на ПЭВМ по программе «АРМ Депо» (рис. 2).

Результаты выполненных расчетов по уменьшению толщины бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10 в зависимости от пробега приведены на рис. 3. Бандажи колесных пар электровозов 2ЭС10 имели различную марку и конфигурацию (профиль) поверхности катания бандажей.

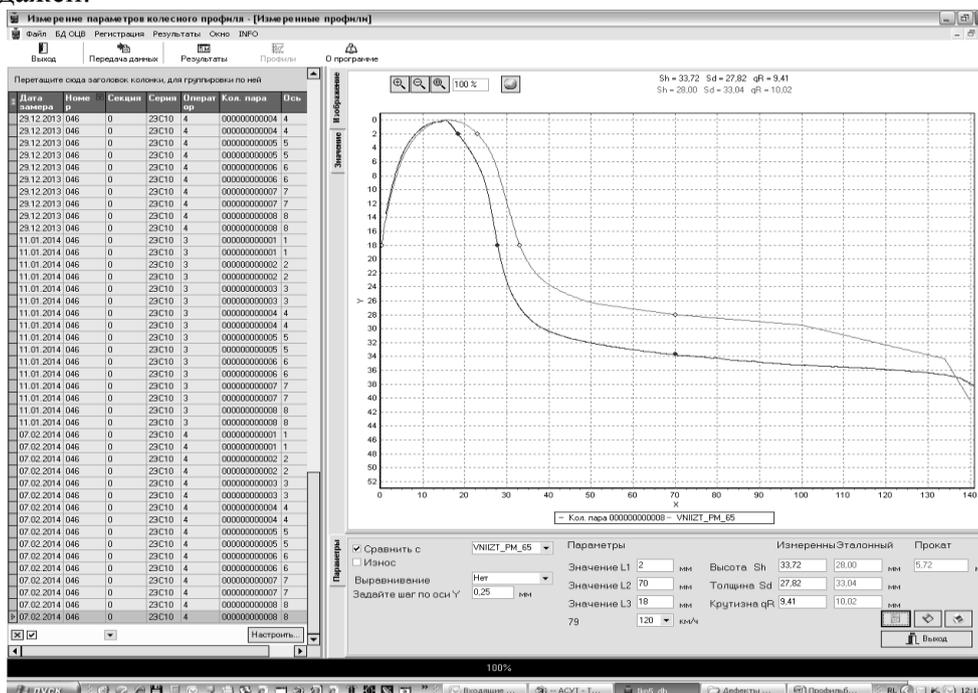


Рис. 2. Окно программы «АРМ Депо»

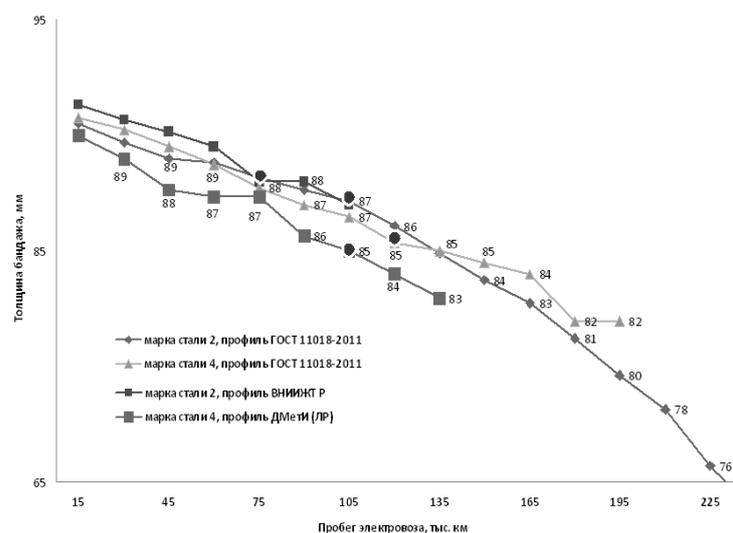


Рис. 3. Износ колесных пар электровозов 2ЭС10 в зависимости от марки стали и конфигурации профиля бандажей

Как видно из рис. 3, средние значения уменьшения толщины бандажей марки 2 и 4 конфигурацией профиля по ГОСТ 11018–2011 от пробега практически не отличаются друг от друга. Также практически не наблюдается отличий в износе бандажей с одинаковой маркой («2») стали, но с различной конфигурацией профиля поверхности катания (по ГОСТ 11018–2011 и ВНИИЖТ Р) колесных пар.

Бандажи одинаковой марки (марка 4), но с различной конфигурацией профиля поверхности катания (по ГОСТ 11018–2011 и ДМетИ типа ЛР) имеют разную степень износа колесных пар. Бандажи, обточенные по профилю ДМетИ (ЛР) на 10–16 % изнашиваются менее интенсивно, чем бандажи с конфигурацией профиля поверхности катания по ГОСТ 11018–2011.

Можно сделать вывод: что эффективность применения марки 2 или 4 бандажей, обточенных по профилям ГОСТ 11018–2011, профиль ВНИИЖТ Р и профиль ДМетИ (ЛР) неодинакова. Это связано с различными условиями, в которых работают бандажи колесных пар.

Отсюда следует, что нет однозначной зависимости между маркой бандажа и износом колесных пар электровозов 2ЭС10, износ бандажей колесных пар зависит и от марки бандажа, и от профиля поверхности катания колесных пар электровозов. Результаты сравнительного анализа не являются окончательными, требуется проведение дополнительных исследований с учетом особенности эксплуатации локомотивов на конкретных участках обращения.

Список литературы

1. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
2. Домбровский К.И. Износ бандажей в зависимости от конструкции экипажа локомотива // Сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. 1962. Вып. № 230. С. 67-112.
3. Иванов И.А., Урушев С.В. О повышении ресурса цельнокатаных колес // Железнодорожный транспорт. 2000. № 6. С. 38-40.
4. Буйносов А.П., Денисов Д.С. О некоторых причинах образования дефектов бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10 «Гранит» // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 113-115.
5. Иванов И.А., Урушев С.В., Ситаж М., Будюкин А.М. Повышение работоспособности колес рельсового транспорта при ремонте технологическими методами. СПб.: Из-во ПГУПС, 1995. 124 с.
6. Буйносов А.П., Денисов Д.С. Влияние глубины маркировки бандажей на надежность колесных пар электровозов 2ЭС10 // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6. С. 170-173.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., А.М. Кислицын

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buinosov@mail.ru, alex_teem@mail.ru.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБМЕРА ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛОКОМОТИВА

В статье рассмотрены алгоритм и технические способы применения ультразвуковых измерительных каналов для обмера геометрических параметров колесных пар при движении локомотива на основе использования бесконтактных методов измерения.

Ключевые слова: локомотив, движение, колесная пара, параметр, обмер, система, канал, измерение.

Автоматизированная система обмера колесных пар локомотивов (АСОК-Л) [1] предназначена для измерения основных геометрических параметров бандажа колесных пар тягового подвижного состава, характеризующих степень их износа, таких как: толщина гребня бандажа; диаметр бандажа по кругу катания; прокат; межбандажное расстояние и других.

Система АСОК-Л обеспечивает измерение поперечного смещения и перекоса колесной пары в тележке, а также текущей скорости движения локомотива с автоматической регистрацией контролируемых параметров.

Комплекс представляет собой многоканальную ультразвуковую локационную систему с использованием неконтактных датчиков. Работа всех измерительных каналов синхронизирована во времени. Движущаяся колесная пара облучается ультразвуковыми импульсами одновременно с нескольких направлений. Отраженные от бандажа сигналы принимаются, подвергаются оцифровке и вводятся в ПЭВМ. С помощью специальных алгоритмов на основе полученной локационной информации и априорной постоянной информации о пространственном положении ультразвуковых датчиков вычисляются контролируемые геометрические параметры. Аппаратная часть системы состоит из блока датчиков, измерительного блока и ПЭВМ. Программная часть включает в себя модуль редактирования файла инициализации, модуль обнаружения локомотива и ввода данных, а также модуль обработки оцифрованных сигналов и диагностики измерительной системы.

Аппаратная часть служит для получения первичной локационной информации и функционально представляет собой совокупность ультразвуковых измерительных каналов, работающих синхронно во времени [2].

Упрощенная структурная схема одиночного ультразвукового измерительного канала приведена на рис. 1. В его состав входят: формирователь зондирующего импульса, квадратурных опорных сигналов и синхросигналов; входной и выходной усилители со схемой согласования; электроакустический преобразователь; квадратурный преобразователь; двухканальный автоматический аналого-цифровой преобразователь АЦП; вычислитель.

По команде перехода из выключенного состояния в активный режим, которая поступает из вычислителя, формирователь начинает генерировать последовательность равноотстоящих во времени зондирующих импульсов $u_{\text{зонд.}}(t)$ на несущей частоте f_0 , с периодом повторения T . Каждый зондирующий сигнал проходит через выходной усилитель, преобразуется электроакустическим преобразователем в акустический сигнал и излучается в сторону колесной пары, затем электроакустический преобразователь осуществляет обратную трансформацию отраженного ультразвукового импульса в электрический сигнал $u_{\text{вх.}}(t)$.

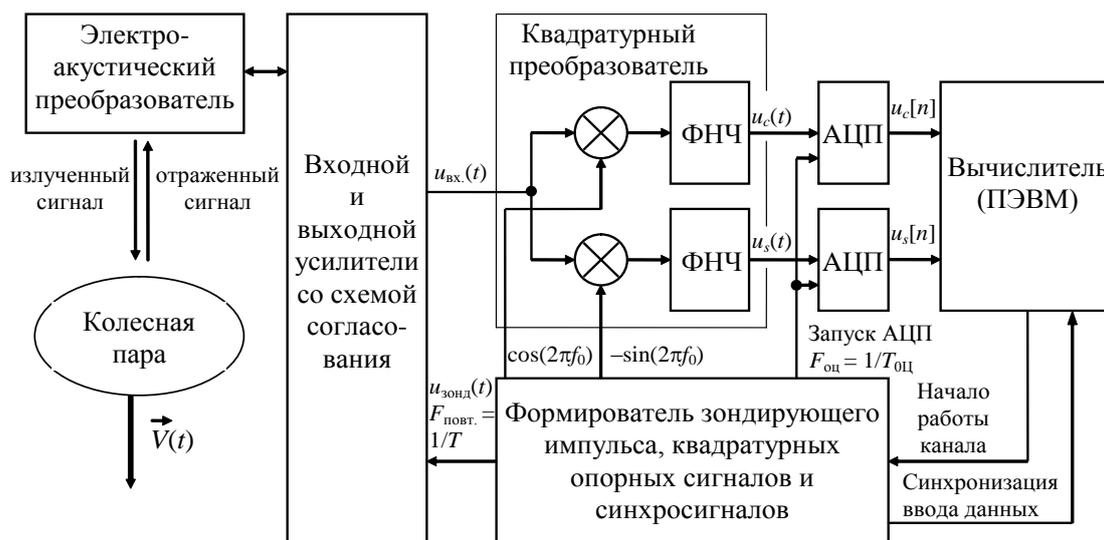


Рис. 1. Структурная схема ультразвукового измерительного канала

Из действительного полосового сигнала $u_{вх.}(t)$ квадратурный преобразователь формирует сигнал комплексной огибающей $u_c(t) + jus(t)$. Квадратурные опорные сигналы частотой f_0 , необходимые для работы квадратурного преобразователя, генерируются формирователем.

Двухканальный АЦП осуществляет оцифровку сигнала комплексной огибающей, полученные комплексные отсчеты $u_c[n] + jus[n]$ поступают в вычислитель. Интервал дискретизации по времени $T_{оц}$ задается синхросигналом моментов дискретизации, поступающим в АЦП из формирователя, который обеспечивает жесткую привязку по времени между моментами формирования зондирующего сигнала, моментами оцифровки сигнала комплексной огибающей и моментами перехода через ноль квадратурных опорных сигналов, для этого несущая частота f_0 выбрана кратной частоте оцифровки $F_{оц} = 1/T_{оц}$, а частота оцифровки $F_{оц}$ – кратной частоте повторения зондирующих импульсов $F_{повт.} = 1/T$. Процесс ввода оцифрованных отсчетов в вычислитель синхронизируется с помощью специального сигнала, который также генерируется формирователем.

В системе используются два типа измерительных каналов, которые отличаются значением несущей частоты [3]. В каналах измерения диаметра ПКН₁ и ПКН₂ (рис. 2) несущая частота f_{01} равна 78125 Гц, а в каналах измерения межбандажного расстояния, проката и толщины гребня (ВП, ПК, ПГ₁ и ПГ₂) несущая частота f_{02} равна 156250 Гц.

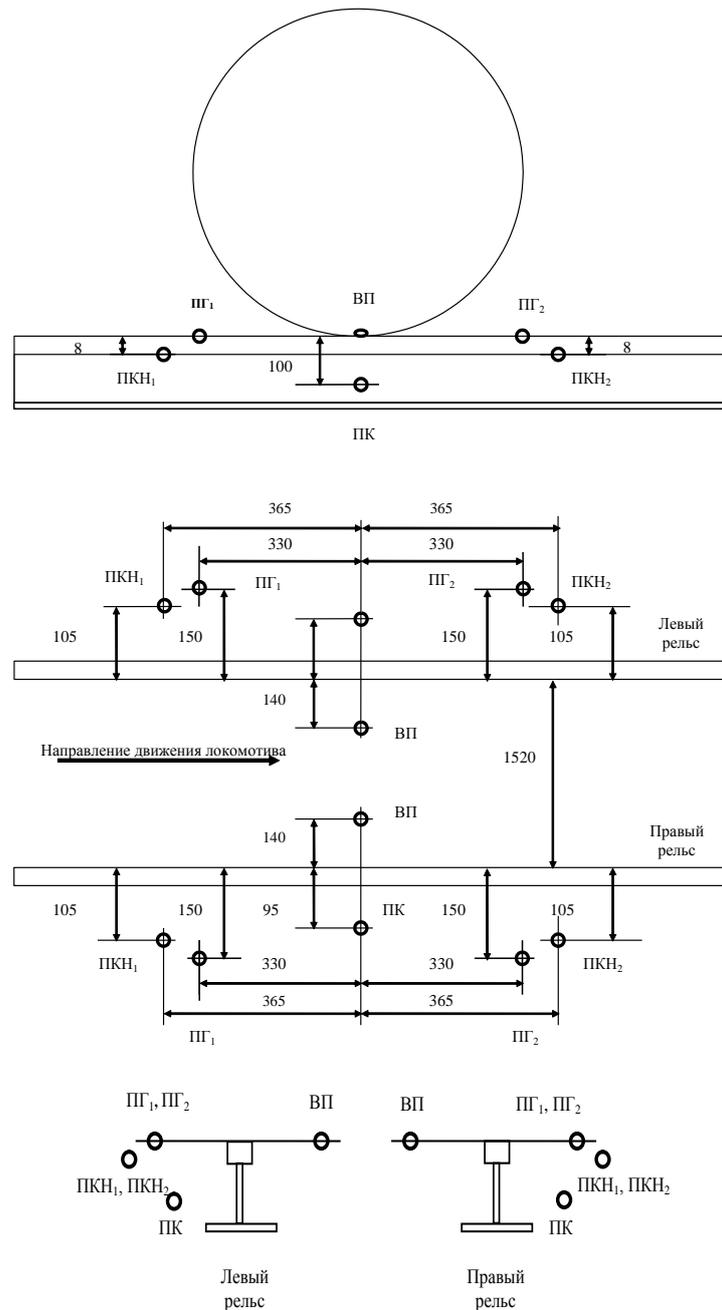


Рис. 2. Схема размещения ультразвуковых датчиков

Зондирующие сигналы являются периодическими. Период повторения T для обоих типов каналов имеет одинаковое значение 638,4 мкс.

При выборе параметров зондирующих сигналов учитывались следующие факторы [4]: зависимость затухания ультразвука в воздухе от частоты; влияние акустических помех и шумов; требуемая точность измерения расстояний; реализуемая ширина полосы пропускания ультразвуковых датчиков; необходимость исключения взаимовлияния измерительных каналов; скорость движения локомотива; требуемый диапазон измерения дальности в измерительных каналах; максимальное упрощение схем формирования зондирующих и оцифровки отраженных сигналов.

Блок датчиков конструктивно состоит из двух идентичных металлических коробов, жестко закрепленных на правом и левом рельсе. В каждом коробе размещены шесть измерительных ультразвуковых датчиков (см. рис. 2), которые расположены симметрично как в продольном, так и в поперечном направлении.

В состав левой и правой половин блока входят следующие датчики: поверхности катания наклонные первый и второй (ПКН₁ и ПКН₂); датчик поверхности катания (ПК); внутренней поверхности (ВП); профиля гребня первый и второй (ПГ₁ и ПГ₂).

В датчиках ВЧ каналов (ПК, ВП, ПГ₁ и ПГ₂) используется один электроакустический преобразователь, который работает и как излучатель и как приемник ультразвуковых сигналов. В датчиках НЧ каналов (ПКН₁ и ПКН₂) используется два электроакустических преобразователя, один из которых является излучателем, а другой приемником.

Передачики входят в состав измерительного блока и предназначены для формирования периодической последовательности импульсных сигналов специальной формы, которые поступают в блок датчиков. Передатчик НЧ каналов помимо этого формирует сигналы, синхронизирующие работу аппаратной части измерительной системы в целом [5].

Первыми с помощью сходных по структуре процедур обрабатываются сигналы каналов ВП, ПКН₁, ПКН₂ и ПК, и формируются массивы отсчетов дальности. Каждый отсчет дальности от измерительного датчика до отражающей точки поверхности бандажа соответствует пространственному положению колесной пары в момент излучения зондирующего сигнала [6]. Полученные массивы отсчетов дальности каналов ВП правого и левого колеса являются исходными для подпрограмм расчета поперечного смещения и межбандажного расстояния колесной пары [7].

В результате обработки сигналов от каналов ПГ₁ и ПГ₂ формируются массивы, элементы которых содержат информацию о координатах точек поверхности гребня и интенсивности отраженного от них сигнала. Положение точек определяется в системе координат, привязанной к движущейся колесной паре. При этом учитываются массивы отсчетов дальности в каналах ВП, ПКН₁, ПКН₂ и ПК.

Вычисление параметров текущей колесной пары осуществляется на основе выходных данных процедур обработки сигналов измерительных каналов и априорной информации о пространственном положении датчиков. Эти параметры сохраняются в памяти ПЭВМ, а также вводятся в электронную таблицу, отображаемую в процессе работы программы на экране монитора.

Список литературы

1. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля параметров бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 73-78.
2. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Структурная схема автоматизированной системы обмера колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 125-127.
3. Калмыков А.А., Наговицын В.С. и др. Бесконтактное измерение бандажей // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34-36.
4. Калязин В.П. Технические средства диагностирования. Л.: Судостроение, 1984. 208 с.
5. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Автоматическая система бесконтактного измерения параметров бандажей колесных пар локомотивов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 2. С. 78-85.
6. Соколов М.М., Варава В.И. Измерение и контроль при ремонте и эксплуатации вагонов. М.: Транспорт, 1991. 154 с.
7. Горский А.В., Наговицын В.С. и др. Экономичная обточка бандажей // Локомотив. 1992. № 4. С. 26-27.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., И.О. Шепелева

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buynosov@mail.ru, shepeleva-ira_91@mail.ru

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛУЧЕННЫХ НА МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАМИ

В статье приведены результаты сравнительного анализа параметров упрочнения сталей гребней бандажей колесных пар на модели и после проведения натурных экспериментов.

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, бандаж, сталь, упрочнение, модель, сравнение.*

Плазменная дуга с поперечными электромагнитными колебаниями широко используется для упрочнения различных деталей из углеродистых сталей, в том числе для упрочнения гребней бандажей колесных пар [1]. При воздействии плазменной струи (дуги) на поверхности гребня бандажа протекают различные физико-химические процессы. Характер их протекания определяется температурой, скоростью и временем нагрева, скоростью охлаждения плазмотрона, свойств обрабатываемого материала и т. д.

В Уральском государственном университете путей сообщения проходит апробацию теоретическая модель упрочнения сталей бандажей колесных пар электровозов при термообработке с использованием неподвижного импульсного или быстродвижущегося сканирующего теплового источника, создающего равномерное температурное поле. Получены уравнения для расчета глубины плазменного упрочнения, времени и скорости охлаждения сталей бандажей в критическом интервале температур, в которых тепловой поток $q = \eta \cdot N/S$, а время действия теплового источника как t_0 , η – коэффициент полезного действия источника; N – мощность источника; S – нагреваемая площадь. T – температура тела; T_0 – исходная температура или температура предварительного подогрева; Q – плотность энергии; c – удельная теплоемкость; γ – плотность стали; a – коэффициент температуропроводности; t – время процесса распространения тепла; z – глубина от поверхности; температура $\theta = (T - T_0)/(T_m - T_0)$; время охлаждения $t_{8/5}$ в интервале температур 800–500 °С и скорости w_{550} при средней температуре 550 °С.

При упрочнении гребней бандажей колесных пар электровозов плазменной дугой в азоте с поперечными электромагнитными колебаниями при $I = 160$ А, $U = 90$ В, $V = 1,4$ см/с, $b = 2,2$ см максимальная температура поверхности T_m близка к температуре плавления – 1500 °С, а толщина упрочненного слоя составляет $z = 0,17$ см. Для плазменной дуги с электромагнитными колебаниями, движущейся со скоростью V , $N = U \cdot I$ (U – напряжение, I – ток дуги), $S = b \cdot d$ (b – ширина колебаний дуги, d – эффективный диаметр дуги), $t_0 = d/V$; максимальная температура θ_m на глубине Z бандажа после плазменного упрочнения.

Примем $\eta = 0,61$ [2], а значением T_0 пренебрегаем. Тогда $\theta_m = 0,633$; $Z = 0,2476$; $z/Z = 0,6866$ см; $c \cdot \gamma = 6,25$ Дж/(см³·°С); $a \cdot d = 0,165$ см³/с. При $a = 0,08$ см²/с величина $d = 2,0625$ см, что соответствует значению d , полученному в [3]. Тепловой поток составляет $q = 1936$ Вт/см², а время действия источника $t_0 = 1,4732$ с. Вычисленные значения $c \cdot \gamma$ и $a \cdot d$ могут быть использованы для расчета глубины упрочненного слоя при других значениях b и V . Время охлаждения в интервале температур 800–500 °С составляет $\tau_{8/5} \approx 2$ (значения $\theta_{500} = 0,3333$, а $\theta_{800} = 0,5333$), относительное время охлаждения с 1500 до 550 °С $w_{550} = 1,3931$ ($\theta_{550} = 0,3667$) скорость охлаждения при температуре 550 °С $w_{550} = 102$ °С/с.

Согласно структурной диаграмме распада аустенита бандажной стали марки 2 [4] для обеспечения мартенситного упрочнения необходимо, чтобы $t_{8/5} < 2,5$ с и $w_{550} > 37,8$ °С/с [5].

В нашем случае эти условия выполняются и, следовательно, упрочненный по данной технологии слой должен иметь мартенситную структуру, что подтверждается металлографическими исследованиями [6].

Для расчета процесса упрочнения при воздушно-плазменном нагреве воспользуемся экспериментальными данными [7]. В этой работе на глубине z_1 , с помощью термопары была измерена максимальная температура T_1 , по металлографическим шлифам была определена глубина упрочнения z_2 . Было показано, что максимальная температура на глубине упрочненного слоя (температура аустенизации) составляет $T_2 = T_a = 950$ °С. Так как ток и напряжение дуги при проведении эксперимента были постоянными, а менялись только амплитуда колебаний плазменной дуги и скорость перемещения плазмотрона, то эффективный диаметр дуги d можно считать постоянным. Значения η и b взяты из [2]. По результатам экспериментов, в которых значение z_1 отличалось от z_2 , можно составить два уравнения с двумя неизвестными:

$$Z_1 = 0,7838 \cdot (1 - \theta_1)^{1,1485}, \text{ где } Z_1 = z_1 / (4 \cdot a \cdot d / V)^{1/2}; \theta_1 = T_1 / T_m,$$

$$Z_2 = 0,7838 \cdot (1 - \theta_2)^{1,1485}, \text{ где } Z_2 = z_2 / (4 \cdot a \cdot d / V)^{1/2}; \theta_2 = T_2 / T_m,$$

из которых можно определить T_m , $a \cdot d$ и $c \cdot \gamma$. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

$I = 200 \text{ A}, U = 125 \text{ В}, T_a = 950 \text{ °С}$									
№ п/п	z_1 , см	T_1 , °С	z_2 , см	V , см/с	η	b , см	T_m , °С	$c \cdot \gamma$, Дж/(см ³ ·°С)	$a \cdot d$, см ³ /с
3	0,10	730	0,05	2,94	0,45	3,7	1216	5,246	0,09848
4	0,10	1300	0,15	1,70	0,45	3,7	2127	5,026	0,06062
5	0,15	540	0,05	2,94	0,45	3,7	1206	5,113	0,10532
7	0,15	1150	0,20	1,70	0,51	3,1	1853	5,057	0,14433
8	0,15	720	0,10	1,70	0,45	3,7	1493	6,633	0,07058
Средние значения								5,415	0,09587

Большой разброс значений $a \cdot d$ можно объяснить заметным оплавлением металла [8] в некоторых экспериментах, вследствие чего коэффициент температуропроводности резко меняется.

Принимая средние значения $c \cdot \gamma = 5,415$ Дж/(см³·°С) и $a \cdot d = 0,09587$ см³/с, можно рассчитать глубину упрочнения (см. табл. 2).

Таблица 2

№ п/п	V , см/с	η	b , см	T_m , °С	Глубина упрочнения z , см	
					эксперимент	расчет
1	2,94	0,45	3,7	1193	0,05	0,05
2	4,80	0,61	2,0	2342	0,10	0,12
4	1,70	0,45	3,7	1569	0,15	0,13
6	4,00	0,61	2,0	2566	0,15	0,14
7	1,70	0,51	3,1	2123	0,20	0,19
8	1,70	0,45	3,7	1569	0,10	0,13
$I = 200 \text{ A}, U = 125 \text{ В}, T_a = 950 \text{ °С}$						

Эксперименты №№ 3 и 5, в которых получены такие же, как и в № 1, параметры, из табл. 2 исключены. В экспериментах №№ 4 и 8 при одних и тех же условиях была получена глубина упрочненного слоя, усредненная величина которой (0,125 см) практически совпадает с расчетным значением $z = 0,13$ см. С учетом этого результата средняя ошибка вычислений составляет 0,1 мм, что вполне допустимо для технологических расчетов. Проведение предварительных расчетов позволяет исключить режимы обработки, приводящие к сильному оплавлению металла (№№ 2, 6 и 7), при котором возможно образование трещин.

Эффективный диаметр воздушно-плазменной дуги равен $d = a \cdot d/a = 1,2$ см, а тепловой поток при $b = 2,0-3,7$ см составляет $q = 2534-6354$ Вт/см².

При сравнении процессов термообработки в азоте и на воздухе видно, что эффективный диаметр дуги в азоте ($d_A = 2$ см) в 1,7 раза больше, чем на воздухе ($d_B = 1,2$ см), а плотность энергии меньше в 1,3-3,3 раза.

Если при скорости перемещения источника нагрева в азоте V_A и на воздухе V_B обеспечивается одинаковая температура нагрева T_m , ширина упрочнения b и погонная энергия (энергия на единицу длины упрочненной дорожки) $\eta \cdot U \cdot I / V$, тогда $d_A/d_B = V_A/V_B = 1,7$, то есть производительность процесса в азоте в 1,7 раза выше, чем на воздухе при неизменной глубине упрочнения $z_A/z_B = Z_A \cdot (4 \cdot a \cdot d_A / V_A)^{1/2} / Z_B \cdot (4 \cdot a \cdot d_B / V_B)^{1/2} = 1$, так как $Z_A = Z_B$.

Если задать одинаковую производительность процесса ($V_A = V_B$), то при одинаковой температуре нагрева глубина упрочнения в азоте будет в 1,3 раза больше, чем на воздухе.

Таким образом, для увеличения производительности процесса или глубины упрочнения бандажей необходимо применять источники с большим диаметром, что может быть достигнуто, например, применением не только поперечных, но и продольных колебаний источника нагрева. В этом случае за расчетный диаметр источника необходимо брать ширину продольных колебаний.

Результаты выполненных экспериментов, сравнительного анализа с результатами, полученными на основании расчета по модели будут использованы при разработке технологии упрочнения электровозных гребней бандажей колесных пар при нагреве плазменной дугой в азоте.

Список литературы

1. Коротков В.А., Трошин О.В., Бердников А.А. Плазменная закалка сканируемой дугой без оплавления поверхности // Физика и химия обработки материалов. 1995. № 2. С. 101-106.
2. Домбровский Ю.М., Бровер А.В. Обработка стали воздушно-плазменной дугой со сканированием // Металловедение и термическая обработка металлов. 1999. № 1. С. 10-13.
3. Лыков А.М., Почапаев В.Т., Редькин Ю.Г. Плазменное термоупрочнение сталей // Физика и химия обработки материалов. 1997. № 3. С. 27-32.
4. Буйносов А.П., Шепелева И.О. Увеличение ресурса колесных пар электровозов за счет плазменного упрочнения гребней бандажей // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6. С. 182-185.
5. Кузьмина Г.Д. Дилатометрические характеристики и диаграммы анизотермического распада аустенита колесной стали марки 2 // Сварочное производство. 1997. № 12. С. 3-5.
6. Буйносов А.П. Определение полного и остаточного ресурса бандажей колесных пар локомотивов на железнодорожном транспорте необщего пользования // Автоматизация и современные технологии. 2013. № 3. С. 030-035.
7. Домбровский Ю.М. Кинетика нагрева стали сканируемой воздушно-плазменной дугой // Сварочное производство. 1998. № 11. С. 15-18.
8. Буйносов А.П., Шепелева И.О. Влияние электрического торможения на износ бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 127-129.

05.03.07

Т.В. Бурнышева

Новокузнецкий институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,
факультет информационных технологий,
кафедра математики и математического моделирования, Новокузнецк, tburn@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АНИЗОГРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Предложена математическая модель совместного деформирования реберной структуры, обшивки и усилений вырезов анизотридных конструкций космических летательных аппаратов при статическом нагружении.

Ключевые слова: летательные аппараты, математическая модель деформирования, анизотридные конструкции, дискретная модель.

В конструкциях современных космических летательных аппаратов (КЛА) находят все большее применение анизотридные конструкции из композиционных материалов, изготавливаемые методом непрерывной намотки [1]. Особенностью этих конструкций является наличие нескольких семейств пересекающихся ребер, которые образуют регулярную структуру (рисунок 1, а).

Проектирование конкретной сетчатой конструкции в меньшей степени позволяет опираться на типовые решения и требует трудоемкого расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) всей конструкции с использованием численных методов и комплексов программ для обеспечения прочности изделия. В настоящее время наиболее разработаны методы расчета оболочек регулярной структуры [2]. Использование современных программных комплексов (ANSYS, NASTRAN, COSMOS) дает возможность строить дискретные модели сетчатых конструкций и рассчитать их НДС с учетом приложенных нагрузок [3]. Однако, универсальные пакеты прикладных программ не позволяют учитывать совместное деформирование структурных элементов сетчатых оболочек, содержащих различные усиления. Поэтому разработка математической модели совместного деформирования реберной структуры, обшивки и усилений вырезов анизотридных конструкций КЛА является актуальной.

За поверхность приведения оболочки с обшивкой выберем поверхность соединения реберной структуры и обшивки, которая обеспечит совместность перемещений элементов конструкции (рисунок 1, б). Поле перемещений сетчатой оболочки предполагается непрерывным. В узлах поверхности приведения зададим оси главной системы координат (s', t', n') , ось s' направлена по касательной к оболочке, ось t' - по образующей от задней кромки оболочки к передней, ось n' - по внешней нормали. К главной системе будем относить перемещения и внешние силы.

Введем вспомогательную цилиндрическую систему координат (z, φ, r) , где ось z совпадает с осью оболочки (рисунок 1, а), угол φ отсчитывается от произвольно выбранной образующей, ось r направлена по внешней нормали к поверхности приведения. Каждая точка конструкции может быть определена координатами (z, φ, n) , причем координата n на поверхности приведения равна нулю. Обозначим перемещения точек поверхности приведения через u, v, w , где u - перемещения вдоль оси s' ; v, w - перемещения вдоль осей t', n' соответственно. Линейные перемещения поверхности приведения вдоль осей (s', t', n') обозначим через u_s, u_t, u_n . Они являются функциями двух координат:

$$u_s = u_s(z, \varphi), u_t = u_t(z, \varphi), u_n = u_n(z, \varphi). \tag{1}$$

Каждый конструктивный элемент анизотридной конструкции зададим соответствующим конечным элементом: спиральные, кольцевые ребра и шпангоуты в виде балок; обшивка в виде треугольных пластин. Для каждого типа конечного элемента выбирается местная система координат (s, t, n) , начало которой находится в точке проекции центра элемента на поверхность приведения. Ось n направлена по внешней нормали к поверхности оболочки, оси t и s выбираются так, чтобы образовалась правая тройка векторов $(\vec{n} = \vec{s} \times \vec{t})$, в соответствии с типом элемента.

Основным видом нагружения анизотридных конструкций КЛА в реальных условиях эксплуатации является внецентренное сжатие вдоль оси оболочки. Поэтому при дискретном моделировании целесообразно рассматривать равномерное или неравномерное распределение погонной нагрузки на верхней кромке оболочки, а также приложение сосредоточенной силы и моментов к «жесткому» узлу (рисунок 1, в).

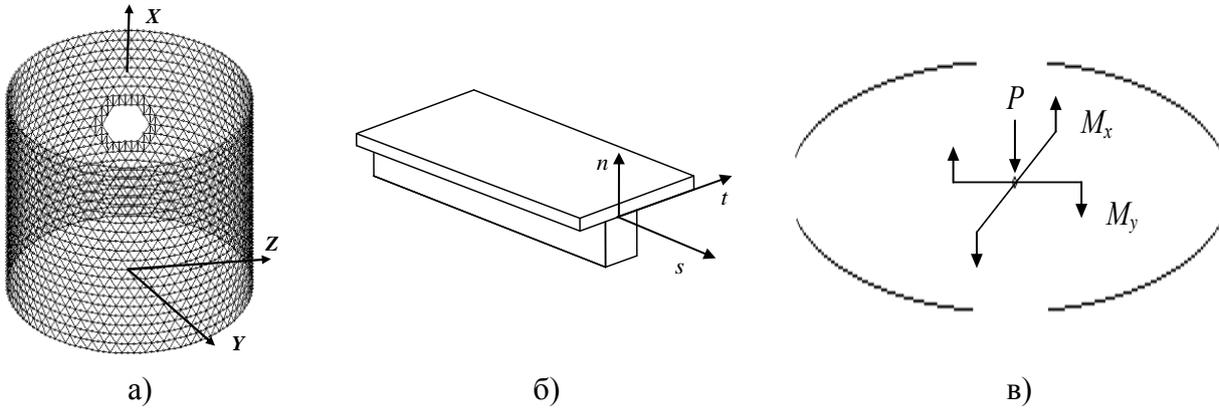


Рис. 1 – Модель сетчатой цилиндрической конструкции:
 а – усиление выреза, б – поверхность приведения,
 в - приложение нагрузки через «жесткий» узел

Для описания деформирования обшивки и реберной структуры используем следующие кинематические гипотезы:

1. Перемещения ребер и обшивки совпадают на линиях поверхности приведения, проходящих параллельно осям ребер.
2. Деформирование обшивки соответствует классической гипотезе Кирхгофа-Лява, согласно которой материальная нормаль совпадает с геометрической, не искривляется и не изменяет своей длины, т.е. деформации нормали и поперечные сдвиги отсутствуют [4].
3. Каждое ребро представим в виде набора коротких балок, высота сечения которых соизмерима с собственной длиной балки. Деформирование балки соответствует гипотезе Тимошенко: поперечные сечения балки не изменяют формы и размеров, но не остаются перпендикулярными к изогнутой линии приведения [5].
4. Перемещения точек балок разных семейств (спиральных, кольцевых) в местах их пересечения непрерывны.

На поверхности приведения перемещения в ребрах в местной системе координат, с учетом $n=0$ и углов поворотов сечений ребер θ_s, θ_n принимают вид:

$$u(s, t, n) = u_s - t\theta_n, v(s, t, n) = u_t, w(s, t, n) = u_n + t\theta_s, \tag{2}$$

а на линиях приведения при $t=0$ совпадают с перемещениями в обшивке. Данное поле перемещений описывает деформирование только системы ребер и является непрерывным в пределах ребер. Оно не относится к точкам, расположенным между ребрами.

Перемещения обшивки в местной системе координат представим так:

$$u(s, t, n) = u_s - \theta'_n n, v(s, t, n) = u_t - \theta'_t \cdot \frac{1}{R} n, w(s, t, n) = u_n, \tag{3}$$

где R – текущий радиус оболочки; $\theta'_n = \frac{\partial u_n}{\partial x}$, $\theta'_t = \frac{\partial u_n}{\partial \theta}$ – углы поворота нормали в пределах обшивки вокруг осей s' и t' соответственно и зависят только от z и φ .

При $n=0$ перемещения в обшивке совпадают с функциями линейных перемещений поверхности приведения в главной системе координат:

$$u(s, t, n) = u(s', t', n') = u_s, v(s, t, n) = v(s', t', n') = u_t, w(s, t, n) = w(s', t', n') = u_n. \quad (4)$$

В результате чего следует, что на поверхности приведения обшивки те же перемещения, что и на линиях приведения для ребер.

Таким образом, поле перемещений сетчатой конструкции однозначно определяется шестью функциями двух координат z и φ :

$$u_s(z, \varphi), u_t(z, \varphi), u_n(z, \varphi), \theta_s(z, \varphi), \theta_t(z, \varphi), \theta_n(z, \varphi). \quad (5)$$

В качестве статической гипотезы примем следующее: нормальные напряжения σ_n , действующие вдоль нормали к поверхности приведения, отсутствуют, а касательные напряжения поперечного сдвига τ_{sn} и τ_{tn} на лицевых поверхностях равны нулю [6].

Основным видом нагружения анизотридных конструкций КЛА в реальных условиях эксплуатации является внецентренное сжатие вдоль оси оболочки. Поэтому при дискретном моделировании целесообразно рассматривать равномерное или неравномерное распределение погонной нагрузки на верхней кромке оболочки, а также приложение сосредоточенной силы и моментов к «жесткому» узлу (рисунок 2).

Совместность перемещений конструктивных элементов дает возможность корректно применить процедуру Ритца для расчета напряженно-деформированного состояния анизотридной конструкции КЛА. Тогда можно применить метод конечных элементов в вариационной постановке, используя принцип Лагранжа [7]:

$$\Pi = \min_{u \in U} \Pi(u)$$

при граничных условиях в перемещениях $u|_{\Gamma_2} = 0$ и внешних нагрузках $P|_{\Gamma_1} = P^*$, где $u = [u, v, w]^T$, $u \in U$ – варьируемое поле перемещений на поверхности приведения, U – пространство кинематически возможных полей перемещений, P^* – внешние нагрузки, $\Pi(u)$ – потенциальная энергия как функционал, зависящий от перемещений.

В обшивке перемещения аппроксимируются неполным кубическим многочленом (элемент Зенкевича-Аргириса), в элементах ребер – одномерным эрмитовым многочленом 3-го порядка.

Разработанная дискретная модель хорошо согласуется с известными континуальными моделями эквивалентной оболочки при регулярной структуре конструкции [8]. В то же время для оболочек с вырезами континуальная модель дает высокую погрешность напряжений в углах вырезов сетчатой конструкции [8]. Это связано с тем, что вырез, соизмеримый с расстоянием между ребрами, нарушает одну из предпосылок применения континуальной модели: в окрестность выреза попадает малое число ребер, что связано с существенностью изгибных эффектов в ребрах. Таким образом, дискретный подход необходим при расчете напряжений в анизотридных сетчатых конструкциях с вырезами, соизмеримыми с размерами структурных ячеек.

Для обеспечения прочности анизотридных оболочек с нарушением регулярности сетки необходим многократный расчет семейств однотипных конструкций, что ведет к трудоемким и продолжительным расчетам на компьютере, поэтому метод полного дискретного моделирования конструкции нельзя рассматривать как универсальный инструмент для расчета.

Предлагается использовать методологию вычислительного эксперимента для параметрического исследования полей напряжений и деформаций сетчатых оболочек,

результаты которого далее используются в рациональном проектировании и при параметрической оптимизации анизотридных конструкций КЛА [9].

Список литературы

1. *Васильев В.В.* Анизотридные композитные сетчатые конструкции – разработка и приложение в космической технике / *В.В.Васильев, В.А.Барынин, А.Ф.Разин, С.А.Петроковский, В.И.Халиманович*// Композиты и наноструктуры. - 2009. - №3.-С. 38-50.
2. *Васильев В.В.* Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
3. *Morozov E.V.* Finite-element modelling and buckling analysis of anisogrid composite lattice cylindrical shells/ *E.V. Morozov, A.V. Lopatin, V.A. Nesterov* // Composite Structures. – 2011. - 93. – P. 308–323.
4. *Работнов Ю.Н.* Механика деформируемого твердого тела. - М.: Наука, 1988. - 712 с.
5. *Тимошенко С.П, Гере Дж.* –Механика материалов. - СПб.: Издательство "Лань", 2002. – 672с.
6. *Филин, А.П.* Элементы теории оболочек. – Л.: Стройиздат, 1987. – 384 с.
7. *Бате, К.-Ю.* Методы конечных элементов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 1024 с.
8. *Бурнышева Т.В.* Сравнение дискретного и континуального подхода к расчету напряженного состояния сетчатых оболочечных конструкций при статическом нагружении /*Т.В.Бурнышева, В.О.Каледин* // Научно-технический вестник Поволжья. - 2011. - № 4. - С. 113-116.
9. *Бурнышева, Т.В.* Методика проекторочного расчета сетчатых оболочечных конструкций из композиционных материалов при статическом нагружении // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. - №3. – С. 97-100.

05.03.07

Т.В. Бурнышева

Новокузнецкий институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,
факультет информационных технологий,
кафедра математики и математического моделирования, Новокузнецк, tburn@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ АНИЗОГРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Предложены постановки задач и алгоритмы их решения для рационального проектирования, поверочного расчета и технической диагностики анизотридных конструкций космических летательных аппаратов при статическом нагружении с применением методологии вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: космические летательные аппараты, вычислительный эксперимент, анизотридные конструкции.

Расчет анизотридных конструкций нерегулярной структуры требует дискретного моделирования, которое традиционно выполняется методом конечных элементов. В задачах проектирования и интерпретации данных натуральных экспериментов требуется проведение трудоемких расчетов многих вариантов с варьированием конструктивных параметров, что ограничивает применимость такого подхода. Представляется целесообразным использовать дискретное моделирование в сочетании с методами планирования вычислительного эксперимента, что позволит в рамках единой методологии рассмотреть как задачи проектного расчета, так и задачи интерпретации данных эксперимента, сокращая при этом количество необходимых вариантов расчета [1]. Математическая модель объекта может быть рассмотрена на уровне «черного ящика», что обеспечит достаточную общность предлагаемого подхода.

Формально математическую модель анизотридной сетчатой конструкции представим в виде [2]:

$$\chi = \Psi(\rho)\check{r}, \quad (2)$$

где χ – вектор переменных состояния (перемещений, напряжений и деформаций); \check{r} – вектор переменных воздействий (приложенные силы); Ψ – оператор модели; ρ – вектор параметров модели, включающий «внутренние» характеристики моделируемого объекта (физико-механические константы материалов, геометрические размеры конструкции и т.п.).

Задача рационального проектирования анизотридной конструкции космического летательного аппарата (КЛА) заключается в определении структурных параметров модели ρ , которые удовлетворяют изначально заданным ограничениям, без условия минимума критерия оптимизации. В качестве ограничений структурных параметров выступают габариты конструкции, заданное число спиральных и/или кольцевых ребер и т.д., а также ограничения по прочности, жесткости и устойчивости.

Поставим задачу рационального проектирования конструкции, соответствующий алгоритм решения приведен на рисунке 1.

Известно: начальные значения структурных параметров модели $X_0 \in \rho$; вектор переменных воздействий \check{r} , модель реакции конструкции на воздействия $\chi = \Psi(\rho)\check{r}$.

Требуется определить: структурные параметры модели $X \subseteq \rho$, при которых выполняются ограничения структурных параметров конструкции $\tilde{F}(\rho) \geq 0$ и параметров состояния $\Phi(\chi) \geq 0$.

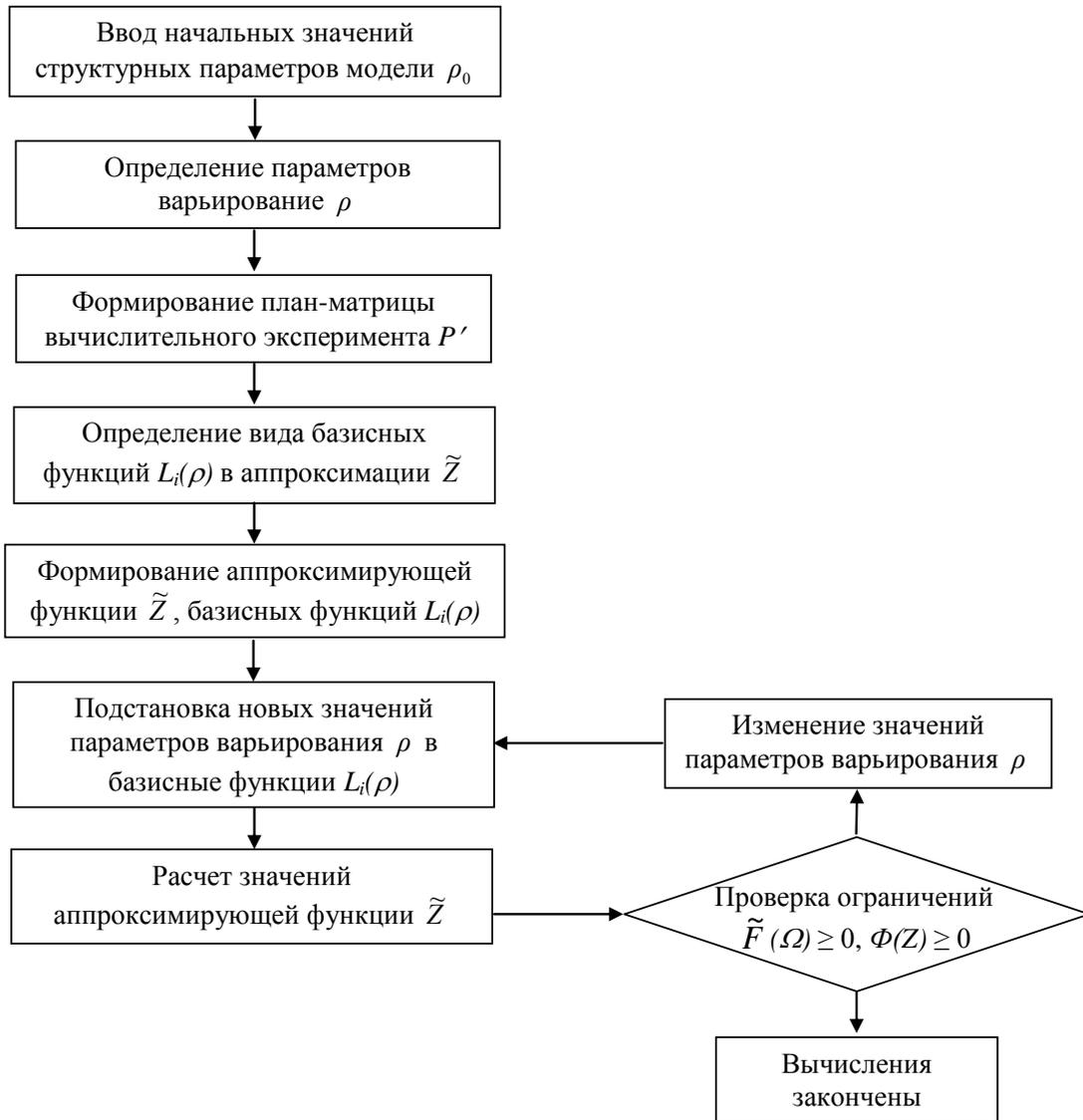


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма определения структурных параметров модели с построением функции аппроксимации откликов

При производстве ответственных конструкций КЛА приобретает актуальность задача диагностики – определение степени соответствия конструкции поставленным техническим условиям по данным неразрушающих и разрушающих натуральных испытаний. По своей постановке задача диагностики относится к задачам идентификации. При этом интерпретация данных натуральных испытаний связана с двумя видами задач идентификации: идентификация фактических параметров прочности, жесткости конструкции и идентификация параметров нагружения.

Поставим задачу определения фактических структурных параметров анизогридных конструкций, алгоритм представлен на рисунке 2.

Известно: начальный вектор структурных параметров модели ρ , вектор переменных воздействий \check{r} , модель реакции конструкции на воздействия $\chi = \Psi(\rho)\check{r}$, данные натурального эксперимента $Q \Leftarrow \chi$.

Требуется определить: структурные параметры модели $X \subseteq \rho$, при которых выполняются ограничения на отклики модели $\tilde{F}(\rho) \geq 0$ и обеспечивается минимум критерия качества идентификации $\Psi = \|\chi - Q'\| \rightarrow \min$, где Q' – данные натурального эксперимента.

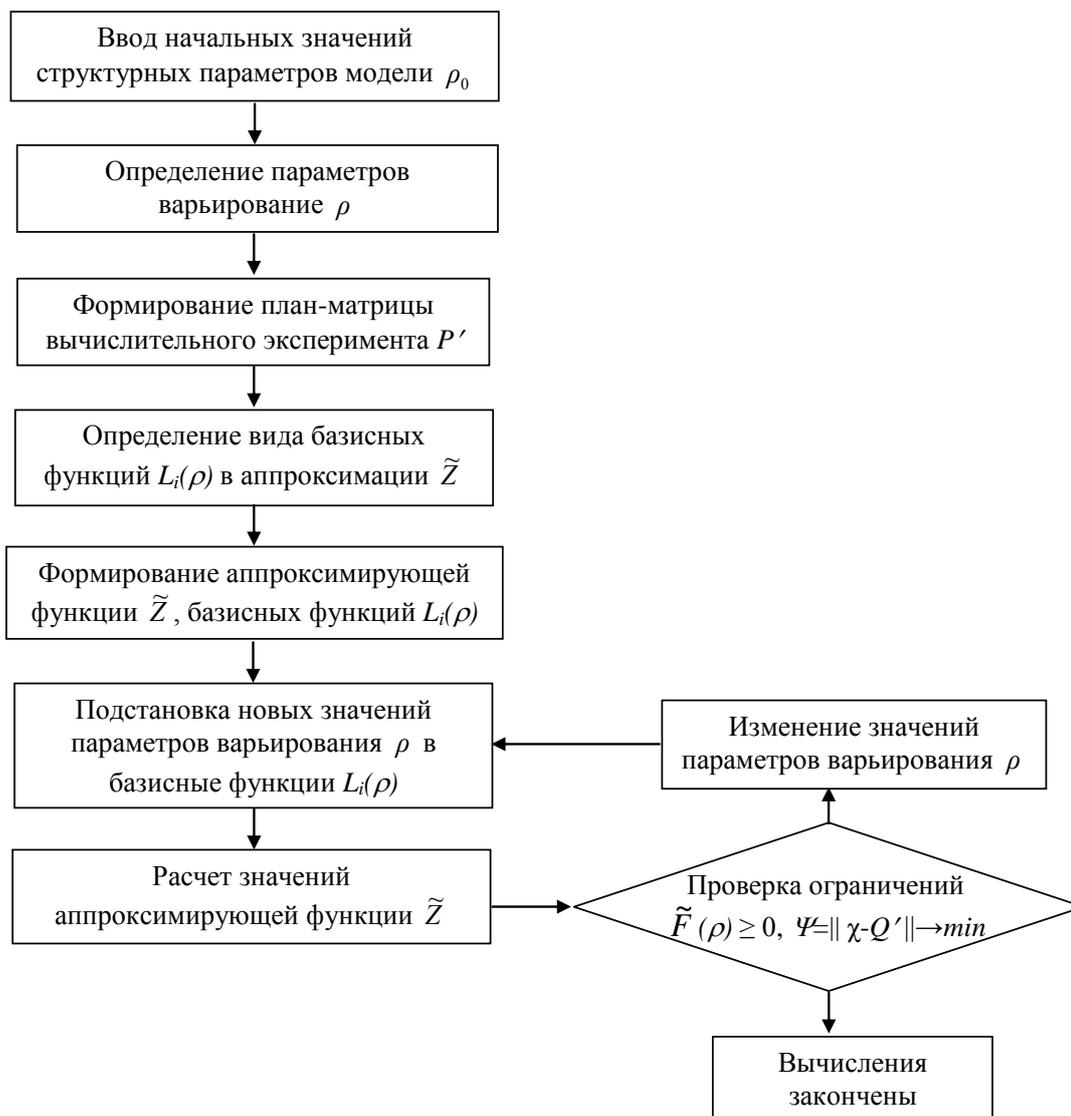


Рис. 2 – Алгоритм идентификации структурных параметров модели

Поставим задачу идентификации для нагрузок конструкции.

Известно: вектор структурных параметров модели ρ , априорно заданный вектор переменных воздействий \check{r} , модель реакции конструкции на воздействия $\chi = \Psi(\rho)\check{r}$, данные натурального эксперимента $Q' = \chi$.

Требуется определить: параметры вектора нагрузок $\check{R} \subseteq \check{r}$, при которых выполняются ограничения на параметры нагрузок $\check{F}(\check{r}) \geq 0$ и обеспечивается минимум критерия качества $\Psi = \|\chi - Q'\| \rightarrow \min$, где Q' – данные натурального эксперимента.

Алгоритм идентификации нагрузок конструкции по структуре совпадает с алгоритмом идентификации структурных параметров, при этом параметрами варьирования являются нагрузки \check{r} при ограничениях $\check{F}(\check{r}) \geq 0$.

Рассмотрим решение задачи идентификации жесткостей окантовок вырезов на примере отсека КЛА. Конструкция представляет оребренную оболочку в форме усеченного конуса, имеет двухслойную обшивку и оребрение: 160 пар спиральных ребер и 21 кольцевое ребро. Длина отсека - $44,884l_h$, длина окружности по передней кромке $237,02l_h$, по задней кромке $234,72l_h$ (l_h - половина высоты ромбической ячейки). Оболочка подкреплена двумя торцевыми шпангоутами прямоугольного сечения, имеет три люка, закрытых крышками, и три выреза под гаргроты. Все вырезы усилены окантовками переменной толщины, которые делятся на три зоны (рисунок 3). К передней кромке оболочки приложена сжимающая сила $P=10174,45$ кН и изгибающий момент $M=0,128P$ кН·м.

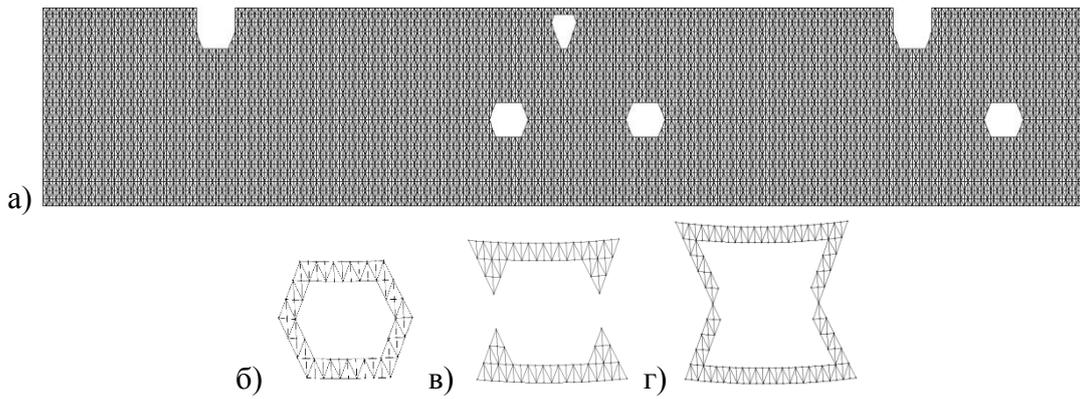


Рис. 3 – Конечно-элементная модель: а - конструкции на развертке, б – внутренняя окантовка, в – средняя окантовка, г – внешняя окантовка

Натурные испытания проводились в ОАО ЦНИИСМ, г. Хотьково. Данные эксперимента предоставлены автору статьи в рамках выполнения научно-исследовательской работы. При проведении натурального эксперимента оболочка устанавливалась вертикально, нижней кромкой опиралась на жесткое металлическое кольцо. Верхняя кромка нагружалась сжимающей силой, приложенной внецентренно посредством нагружающего устройства через жесткую плиту, опираемую на верхнюю кромку [3]. В процессе нагружения измерялись перемещения вдоль образующей (в нижней части конструкции крепились датчики деформаций).

Сравнение измеренных и вычисленных перемещений позволило выдвинуть предположение о нелинейной связи перемещений и приложенной нагрузки (рисунок 4, а). Исследование конструкции на устойчивость показало, что потеря устойчивости происходит в локальных зонах, примыкающих к вырезам, а найденные формы потери устойчивости являются местными. Задача идентификации жесткости окантовок, изменяющейся в процессе нагружения вследствие местной потери устойчивости, формулировалась следующим образом: требуется определить жесткости окантовок вырезов, обеспечивающие минимальное рассогласование вычисленных и измеренных перемещений.

В вычислительном эксперименте варьировалась величина приложенной силы, при которой происходит местная потеря устойчивости конструкции. Критерием идентификации выбиралось условие минимума функционала:

$$\Phi = \|U - u(P)\|, \tag{1}$$

где U - вектор перемещений, полученный при проведении натурального эксперимента, $u(P)$ – вектор перемещений, найденный численно.

В качестве нормы используется

$$\int_0^{P_{\max}} \max_i |U_i - u_i(P)| dP \approx \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \max_i |U_i - u_i(P)| \cdot P_{\max}. \tag{2}$$

Перемещения $u(P)$ представлялись в виде перемещений, найденных с учетом линейной зависимости от нагрузок, и добавок, пропорциональных формам потери устойчивости u_i :

$$u(P) = C_0 P + C_1 (P - P_1) H(P - P_1) \cdot u_1 + C_2 (P - P_2) H(P - P_2) u_2 + \dots, \tag{3}$$

где $H(P - P_i)$ – единичные функции Хевисайда.

Коэффициенты C_i и фактические нагрузки местной потери устойчивости P_i определялись в результате идентификации. Учет местной потери устойчивости в расчете полей перемещений позволяет на порядок уменьшить рассогласование результатов расчета и эксперимента. Так, в отсеке летательного аппарата в зоне второго люка (датчики п9, п10, п11) погрешность вычисленных перемещений с учетом местной потери устойчивости не превысила 5% (рисунок 4, б). Напряжения, соответствующие окончательно определенным перемещениям, не превышают предела прочности материала, но существенно (на 15-20%) превышают напряжения, рассчитанные в линейном приближении при проектных параметрах

конструкции. Это позволяет более обоснованно сформулировать заключение о прочности по данным натурных испытаний.

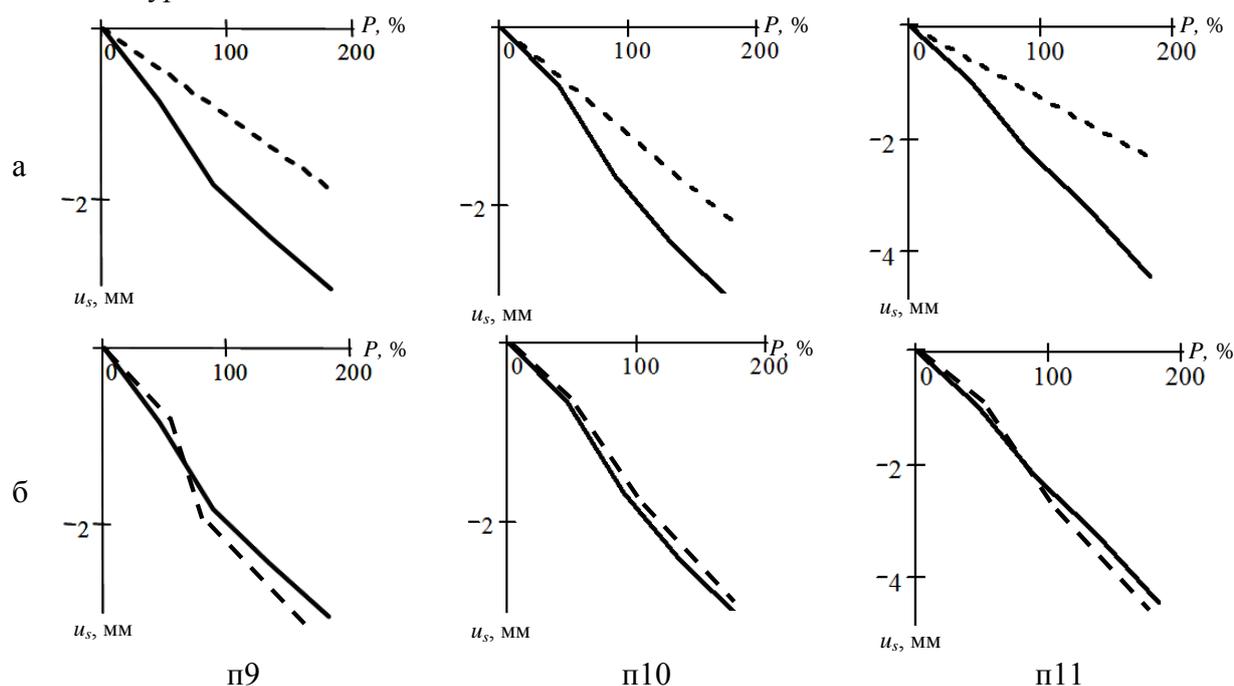


Рис. 4 – Деформирование отсека летательного аппарата в местах расположения датчиков п9, п10, п11: а – линейная зависимость перемещений от нагрузок, б – после идентификации;

----- данные численного расчета, — данные эксперимента

Учет нелинейности перемещений в задаче идентификации жесткостей окантовок отсека летательного аппарата по данным натурного эксперимента дает возможность составить более полное представление о работе окантовок вырезов и самой конструкции КЛА в целом при статическом нагружении.

Список литературы

1. Бурнышева, Т.В. Методика проекторочного расчета сетчатых оболочечных конструкций из композиционных материалов при статическом нагружении // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. - №3. – С. 97-100.
2. Казначеева О.К., Каледин В.О. Идентификация параметров упругости и жесткости конструкций из армированных материалов. – Новочеркасск: ЛИК, 2012. – 135 с.
3. Бурнышева Т.В. Особенности деформирования сетчатых композиционных оболочек при статическом осевом сжатии / Т.В. Бурнышева, В.О. Каледин, А.Б. Миткевич // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2012. - Т. 78. - № 11. - С. 61-65.

05.07.01

Л.В. Быков, П.В. Никитин, О.А. Пашков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
«МАИ», bykov@mai.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕРАВНОМЕРНОГО СНОСЯЩЕГО ПОТОКА С КОНСТРУКЦИЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В работе представлены результаты численного моделирования взаимодействия дирижабля, совершающего равномерное прямолинейное движение, с атмосферным порывом. Проанализировано изменение во времени суммарных и распределённых аэродинамических характеристик дирижабля на различных этапах взаимодействия с порывом. Сделаны выводы о влиянии геометрических параметров аппарата на изменения его аэродинамических характеристик, а также о целесообразности применения методов численного моделирования для решения подобных задач.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты 12-08-00145-а, 13-08-01328

Ключевые слова: дирижабль, атмосферный порыв; численное моделирование; динамическая сетка; аэродинамические характеристики; вихревая структура.

В данной работе рассмотрено решение задачи взаимодействия конструкции летательного аппарата (ЛА) типа дирижабль со сносящим порывом ветра. Методика проведения моделирования была подробно описана в работе [1]. Геометрия исследуемых объектов представлена на рис. 1.

Установлено, что при полёте в невозмущённом потоке дирижабль обтекает симметрично, как тело вращения при нулевом угле атаки. При этом возникает зона повышенного давления на затуплённой носовой части дирижабля.

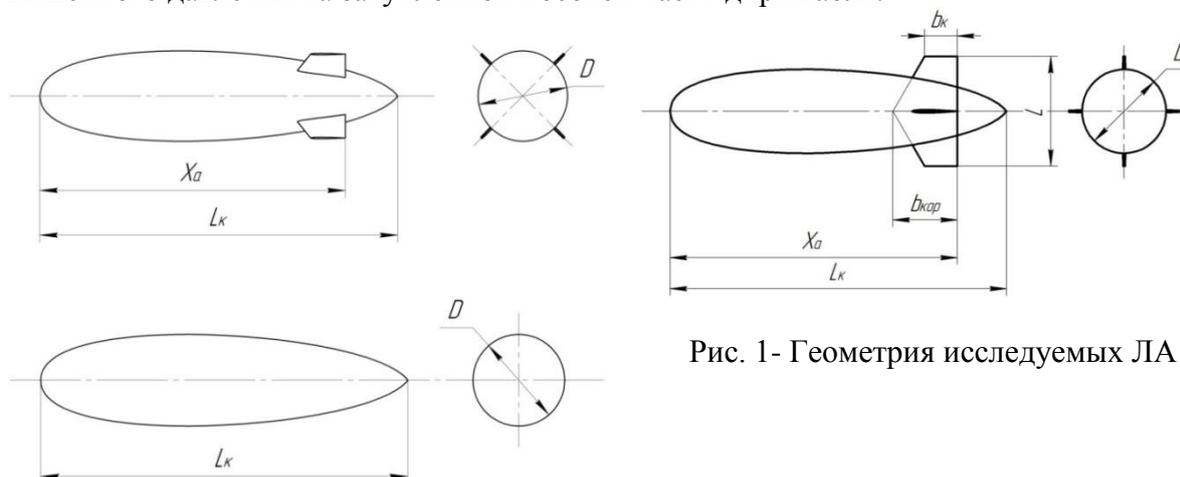


Рис. 1- Геометрия исследуемых ЛА

При начале взаимодействия с порывом ($t = 13$ с) на наветренной стороне носовой части дирижабля образуется зона повышенного давления, а на подветренной стороне – зона разрежения, что вполне ожидаемо. В этот момент времени хвостовое оперение ещё не взаимодействует с атмосферным порывом, поэтому существенных изменений в его обтекании не наблюдается.

В момент, когда дирижабль проходит ядро порыва ($t = 15$ с) были замечены значительные изменения в обтекании хвостового оперения. На подветренной стороне образуются обширные зоны разрежения, обусловленные срывными эффектами на консолях. Лучше всего они заметны на компоновке схемы «+». Так как эффективный угол атаки консолей оперения равен примерно 30 градусам (что значительно больше критического угла атаки для профиля НАСА-0006), то замеченные явления вполне ожидаемы. Было установлено, что вихревые

структуры на поверхности дирижабля при его прохождении через ядро атмосферного порыва не формируются.

После выхода из порыва ($t = 20$ с) поле избыточного статического давления становилось идентичным полю до входа в порыв.

Следует отметить, что, так как корпус при прохождении через порыв имеет эффективный угол атаки порядка 30 градусов, то в общем случае на его подветренной стороне может возникать вихревая пелена. То, что в данном конкретном случае её наличие не было установлено, следует отнести к геометрическим особенностям исследуемой конфигурации ЛА.

На рисунке 2 представлены распределения коэффициента продольной силы по длине дирижабля в различные моменты времени.

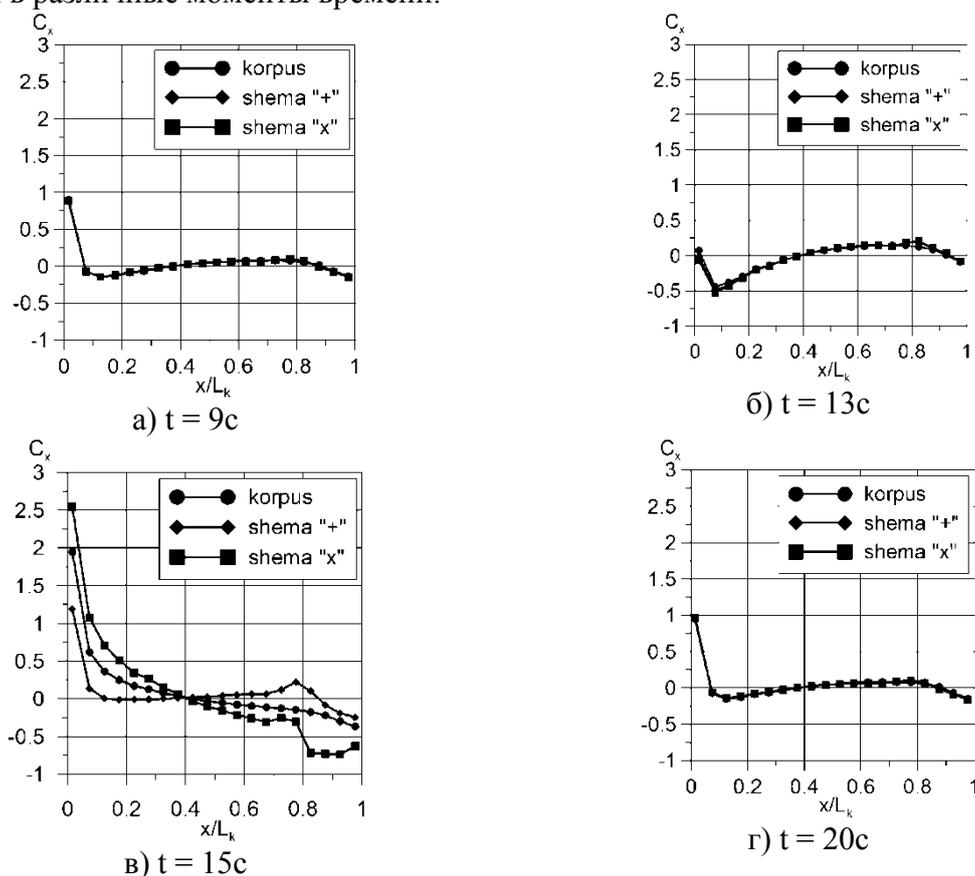


Рис. 2- Распределение коэффициента продольной силы по длине дирижабля в различные моменты времени

Видно, что до входа в порыв и после выхода из него графики идентичны. При этом наибольший вклад в коэффициент продольной силы вносит носовая часть дирижабля, что обусловлено наличием зоны повышенного давления на затуплённом носу. При взаимодействии с порывом распределения коэффициента C_x для разных компоновок отличаются главным образом количественно. Хвостовое оперение не вносит существенных изменений в распределение C_x по длине дирижабля. На рисунке 3 представлены результаты распределения коэффициента нормальной силы по длине дирижабля в различные моменты времени.

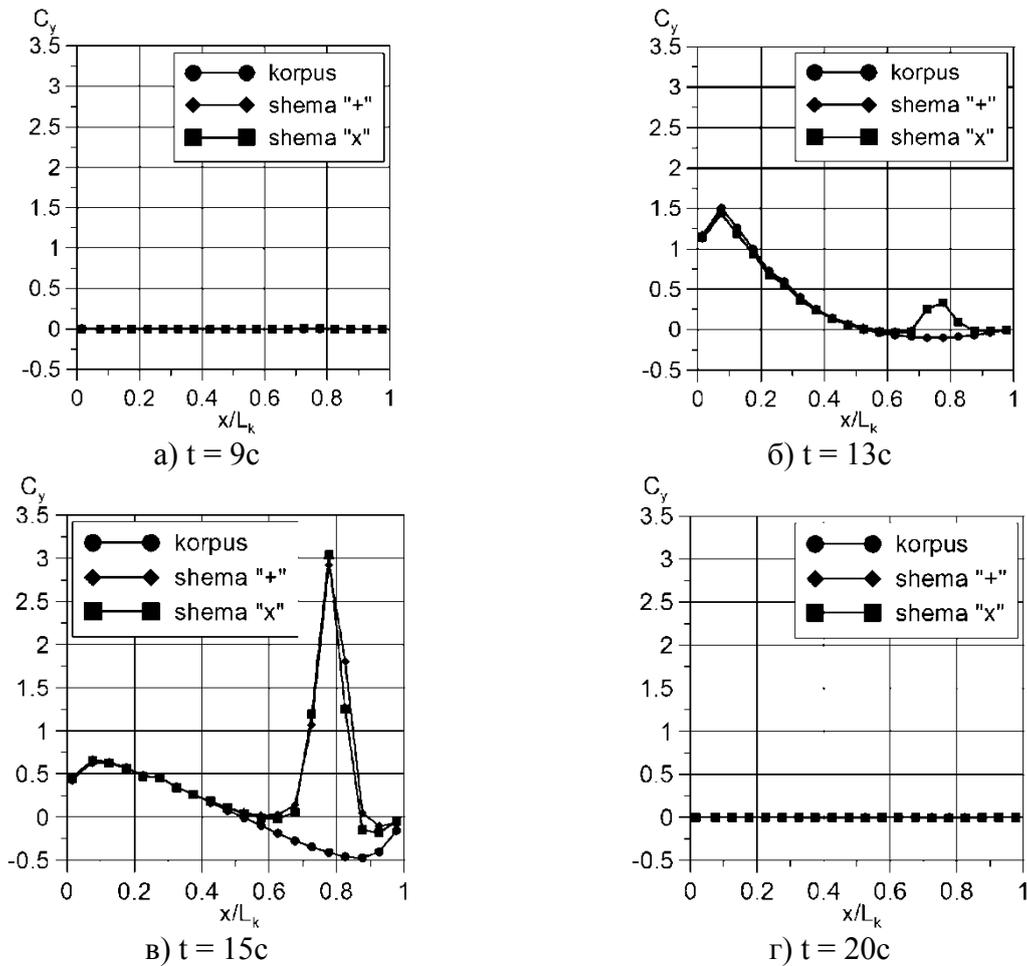
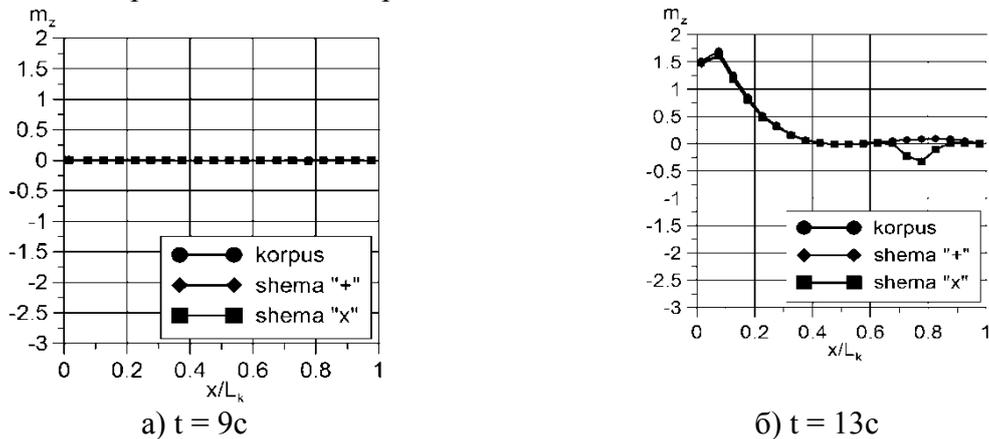


Рис. 3- Распределение коэффициента нормальной силы по длине дирижабля в различные моменты времени

Видно, что при движении аппарата в невозмущённом потоке коэффициент нормальной силы практически равен нулю. В начальный момент взаимодействия с порывом ($t = 13$ с) коэффициент C_y достигает наибольших значений в носовой части дирижабля, а вклад хвостового оперения при этом незначителен. Позже, при прохождении дирижаблем ядра порыва ($t = 15$ с) вклад носовой части снижается. В то же время увеличивается прирост коэффициента нормальной силы от хвостового оперения. Этот прирост обусловлен не только нормальной силой на самих консолях, но также интерференцией оперения и корпуса. Следует отметить, что коэффициент C_y имеет положительные значения на расширяющейся части корпуса, в то время как на сужающейся хвостовой части он приобретает отрицательные значения, что хорошо согласуется с результатами линейной теории.

На рисунке 4 представлены результаты распределения коэффициента момента тангажа по длине дирижабля в разные моменты времени.



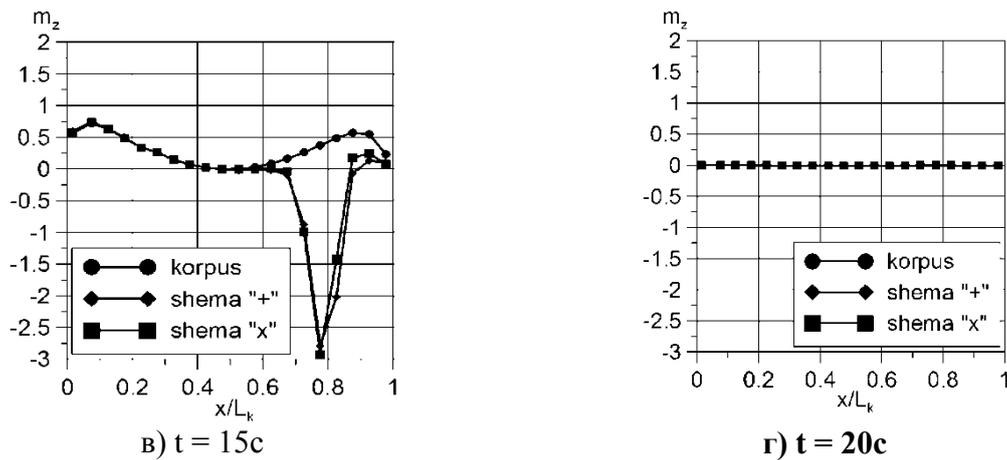


Рис. 4- Распределение коэффициента момента тангажа по длине дирижабля в различные моменты времени

Коэффициент m_z был рассчитан относительно центра объёма дирижабля. Видно, что при движении в невозмущённом потоке коэффициент момента тангажа равен нулю. В начальный момент взаимодействия с атмосферным порывом на носовой части возникает сильный момент на кабрирование, который постепенно снижается по мере вхождения дирижабля в порыв. В то же время увеличивается момент на пикирование, создаваемый хвостовым оперением.

На рисунке 5а представлена зависимость коэффициента лобового сопротивления дирижабля от времени. Видно, что при приближении к атмосферному порыву лобовое сопротивление уменьшается и даже заходит в область отрицательных значений. Это обусловлено тем, что струя эжектирует поток из окружающего пространства и тем самым «затягивает» аппарат в себя. Так как при выходе из порыва наблюдается аналогичный эффект, то лобовое сопротивление в этом случае возрастает.

Так как колебания коэффициента C_x при взаимодействии дирижабля с порывом значительно превышают его значение при полёте в невозмущённом потоке, то это может сильно сказаться на управляемости аппарата и скорости его движения.

На рисунке 5б представлена зависимость коэффициента подъёмной силы дирижабля от времени.

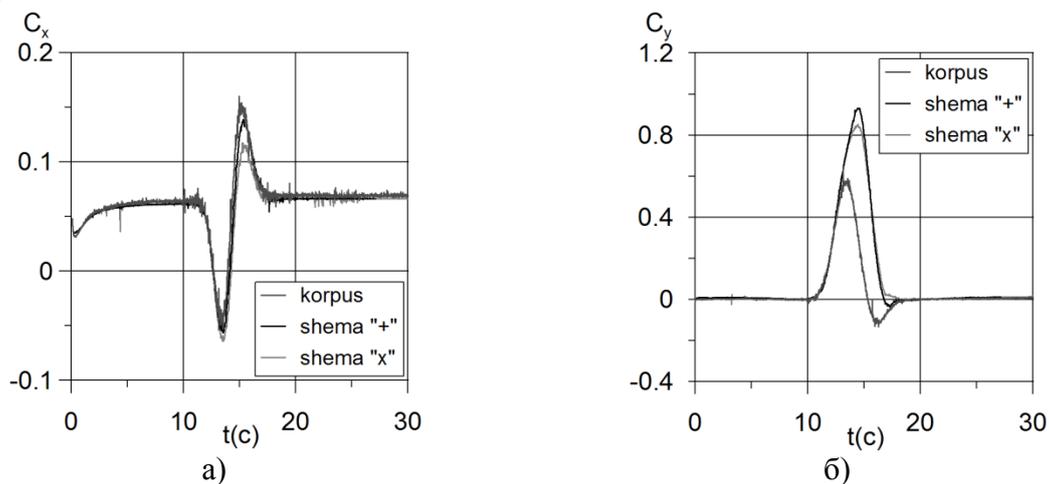


Рис.5- Зависимость аэродинамических характеристик дирижабля от времени.

а - коэффициента лобового сопротивления, б - коэффициента подъёмной силы

Видно, что до того момента, как хвостовое оперение начинает взаимодействовать с порывом, все компоновки имеют примерно одинаковый коэффициент C_y . Но, начиная с момента $t = 13\text{c}$, оперённые корпуса начинают сильно выигрывать в подъёмной силе у изолированного корпуса, что обусловлено приростом подъёмной силы от оперения. При этом сдвигается положение максимума C_y по времени, увеличивается время воздействия порыва на аппарат.

Следует отметить, что в общем случае значения подъёмной силы (как и других коэффициентов) для схемы «+» и схемы «х» должны отличаться. Такое их совпадение обусловлено конкретными геометрическими особенностями исследованных ЛА. В данной работе другие конфигурации не исследовались.

На рисунке 6 представлена зависимость коэффициента момента тангажа от времени. Видно, что при взаимодействии с порывом коэффициент m_z достигает наибольших значений у изолированного корпуса. Это обусловлено тем, что при возникновении момента на пикирование на носовой части аппарата он не парируется хвостовым оперением. В то же время при выходе из порыва у изолированного корпуса не наблюдается провала коэффициента m_z в область отрицательных значений, так как момент на пикирование от хвостовой части изолированного корпуса намного слабее, чем от хвостового оперения.

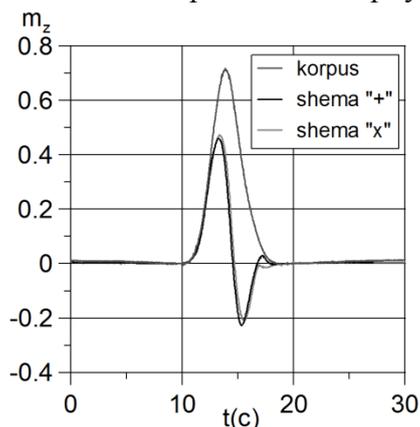


Рис. 6- Зависимость коэффициента момента тангажа дирижабля от времени

Выводы

Проведено моделирование взаимодействия оперённого корпуса с порывами ветра в трёхмерной постановке; исследовано взаимодействие с порывом изолированного, оперённого корпуса как в «+» - образной, так и в «х» - образной ориентациях. Установлено, что наличие оперения на корпусе приводит к существенному изменению, как суммарных, так и распределённых сил и моментов по сравнению со случаем неоперённого корпуса. Показано, что изменение схемы ориентации оперения в рассмотренном примере (сочетание скорости перемещения дирижабля и максимальной скорости в порыве) не привело к изменению характера протекания по времени суммарных сил и моментов, но вызвало изменение их абсолютных величин, во время нахождения аппарата в порыве.

Результаты моделирования могут быть использованы для оценки перерезывающих сил и изгибающих моментов при проектировании дирижаблей.

Список использованных источников

1. Быков Л.В., Никитин П.В., Паиков О.А. Методика моделирования взаимодействия неравномерного сносящего потока с конструкцией летательного аппарата // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №10. С.130-133

05.07.01

Л.В. Быков, О.А. Пашков, А.А. Яковлев

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
«МАИ», bykov@mai.ru

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С НЕСУЩИМ ФЮЗЕЛЯЖЕМ

В работе представлены результаты расчета аэродинамических характеристик летательного аппарата с несущим фюзеляжем для разных компоновок. Сделаны выводы о достоинствах и недостатках рассматриваемых компоновок.

Ключевые слова: *самолет, несущий корпус, численное моделирование, компоновка, безотрывное обтекание, вихревая структура.*

В работе, посвященной постановке задачи обтекания летательного аппарата с несущим фюзеляжем были сформулированы граничные условия и выбрана модель турбулентности для проведения численного решения [1]. На этапе предварительных расчетов получены аэродинамические характеристики изолированного корпуса. В рамках данной работы будут приведены результаты расчетов аэродинамических характеристик различных компоновок и проведено их сравнение.

Ниже представлены аэродинамические характеристики компоновки корпуса ЛА с хвостовым оперением. Хвостовое оперение необходимо для балансировки летательного аппарата и установки на нём органов управления. Оно также способствует увеличению подъемной силы самолёта на взлетных режимах. Внешний вид компоновки с вертикальным и горизонтальным хвостовым оперением показан на рисунке 1. Рассматривались взлётно-посадочные режимы рассматриваемой компоновки, поэтому методика расчёта осталась неизменной по сравнению с изолированным корпусом. В ходе расчётов были определены суммарные и распределённые характеристики летательного аппарата, а также выявлена картина обтекания.

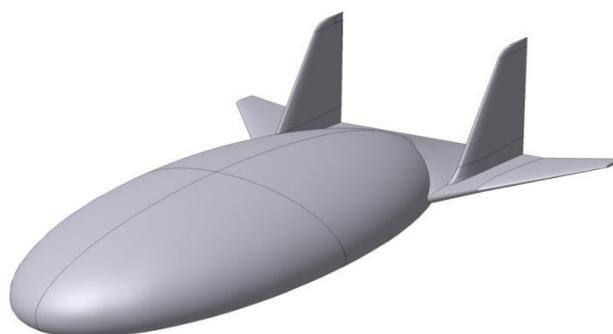


Рис. 1 - Внешний вид компоновки с вертикальным и горизонтальным хвостовым оперением

Линии тока показаны на рисунке 2а. При анализе картины обтекания самолёта было установлено, что вихри, образующиеся на боковых кромках, находятся в непосредственной близости от килей вертикального оперения. В результате на больших углах атаки вихри изменяют картину обтекания вертикального оперения, что является недопустимым. На рисунке 2б хорошо видно, что на больших углах атаки возникают обширные отрывные зоны на верхних поверхностях горизонтального оперения, что также нежелательно [2].

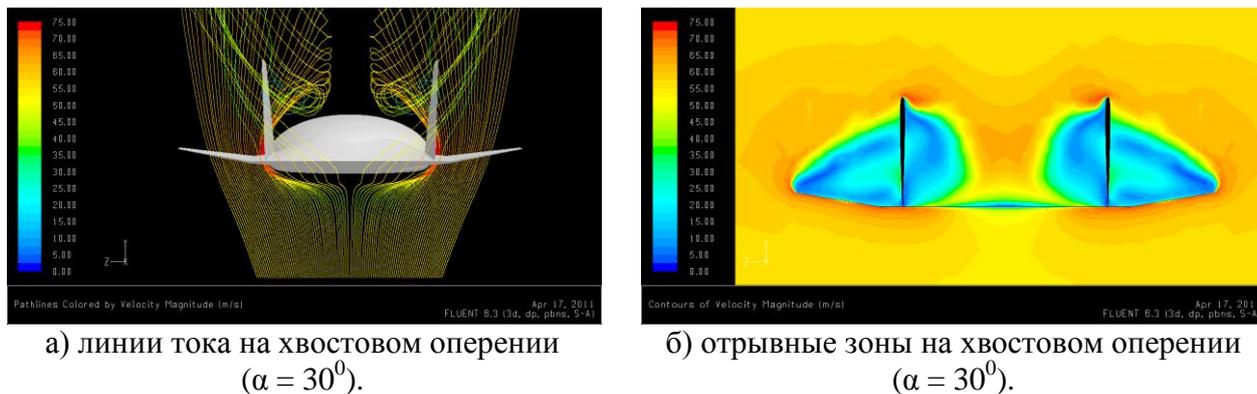


Рис.2 – Картины обтекания хвостового оперения

Полученные картины обтекания компоновки с хвостовым оперением поставили задачу дальнейшего ее совершенствования. С этой целью была разработана компоновка с горизонтальным оперением стреловидной формы (рисунок 3) и произведены численные расчёты на режимах взлёта и посадки. Для упрощения задачи было принято решение на этом этапе не рассматривать боковые характеристики ЛА. Поэтому геометрия с вертикальным оперением не рассматривалась. Вопрос формы и размещения вертикального оперения предполагается рассмотреть в рамках следующих этапов представленной работы.

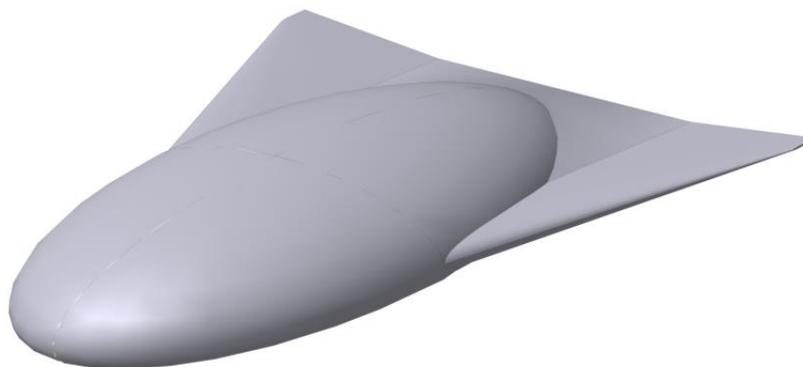


Рис. 3 - Внешний вид компоновки с горизонтальным оперением стреловидной формы

В ходе исследований было обнаружено, что новая компоновка имеет аэродинамическое качество выше, чем компоновка с вертикальным оперением и изолированный фюзеляж (рисунок 4а). Оно достигает значения $K = 9.015$ при угле атаки $\alpha = 4^\circ$.

Следует отметить, что в результате сочетания эллипсоидной формы ЛА с горизонтальным оперением большой стреловидности передняя часть фюзеляжа работает как эллиптический корневой наплыв. На больших углах атаки вихревые структуры, возникающие на передней части фюзеляжа, стабилизируют пограничный слой, что приводит к безотрывному обтеканию и значительно увеличивает несущие свойства ЛА по сравнению с предыдущей компоновкой. На рисунке 4б хорошо видно, что коэффициент подъёмной силы возрастает линейно до значений $\alpha = 26^\circ$, а критический угол атаки для второй компоновки равен 37° . Кроме того, наличие горизонтального оперения такой формы позволило существенно увеличить подъёмную силу за счет предотвращения перетекания потока в кормовой части ЛА и увеличения несущей площади.

Возросшим на больших углах атаки лобовым сопротивлением (рисунок 4в) можно пренебречь, так как режимы взлёта и посадки относительно кратковременны.

Для обеспечения балансировки самолёта на угле максимального качества, центр масс должен быть расположен на расстоянии $0.12L$ от центра масс изолированного фюзеляжа (где L - длина фюзеляжа). Летательный аппарат при этом становится статически неустойчивым практически во всём диапазоне углов атаки (рисунок 4г).

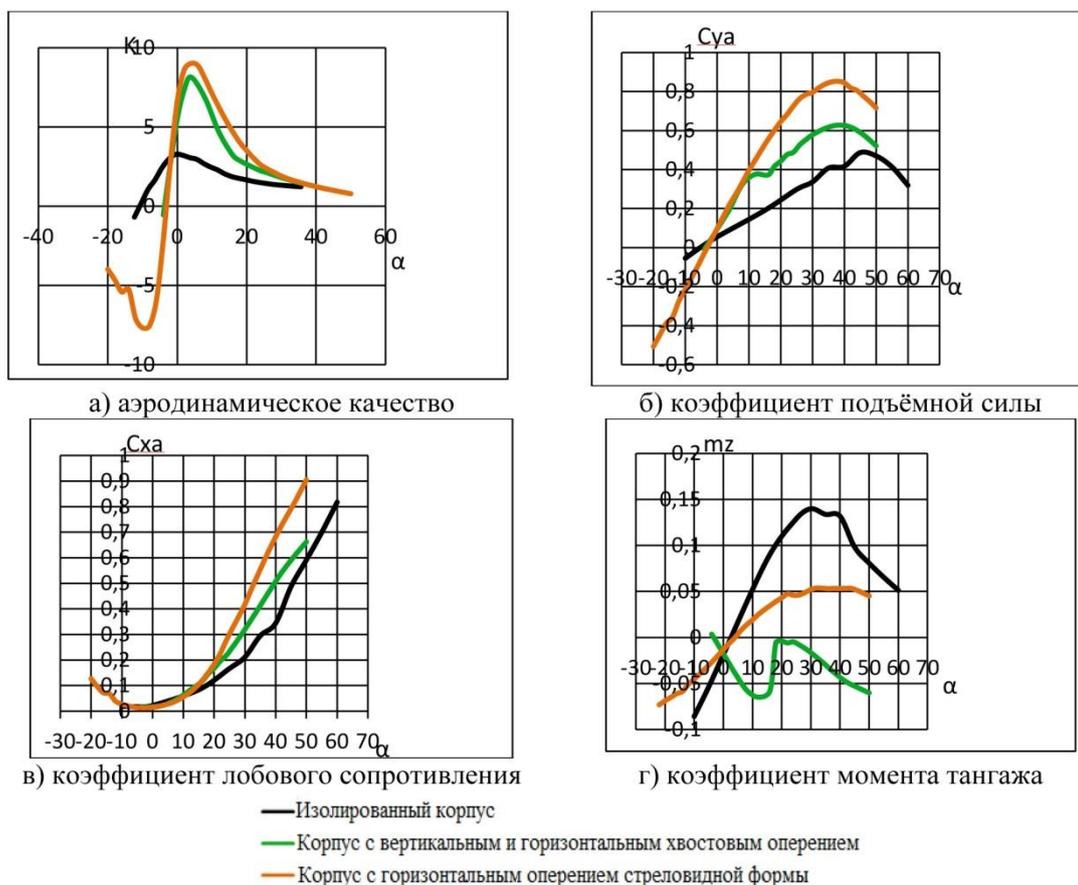


Рис.4 – Аэродинамические характеристики разных компоновок

При этом линейный характер зависимости момента тангажа от угла атаки в диапазоне $-12^\circ < \alpha < +22^\circ$ позволяет применить автоматическую систему стабилизации. В случае беспилотного и высокоманевренного ЛА такие моментные характеристики являются приемлемыми, хотя для пассажирского и транспортного варианта, безусловно, следует искать пути повышения продольной статической устойчивости. В целом же несущие свойства новой компоновки значительно превосходят несущие свойства изолированного фюзеляжа и компоновки с вертикальным и горизонтальным хвостовым оперением.

В то же время следует заметить, что такой компоновке вихревая структура, образующаяся на верхней поверхности ЛА, также накладывает определённые ограничения на расположение вертикального оперения.

Выводы.

Предложенная концепция ЛА может быть рекомендована для использования в качестве беспилотного летательного аппарата.

Необходимо провести дальнейшие работы по поиску оптимальных лётных характеристик. Детального рассмотрения требует вопрос расположения и размеров вертикального оперения. Необходимо определить конфигурацию силовой установки и изучить возможную интерференцию потока из сопел с частями планера. Требуют изучения крейсерские режимы полёта, связанные с большими дозвуковыми скоростями, на которых придется учитывать эффекты сжимаемости среды.

Список использованных источников

1. Быков Л.В., Пашков О.А. Постановка задачи обтекания летательного аппарата с несущим фюзеляжем // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С.134-136.
2. Пашковский И.М. Особенности устойчивости и управляемости скоростного самолета. М. Воениздат 1961г. 350с.

05.13.12

А.А. Волков, Б.И. Гиясов, П.Д. Челышков, А.В. Седов, Б.С. Стригин

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», sc@mgsu.ru

**ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ И ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ЗДАНИЙ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ИХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

В работе рассмотрен комплексный подход к оптимизации энергоэффективности зданий, опирающийся на системное рассмотрение совокупности климатических, антропогенных, архитектурных и инженерных факторов.

Ключевые слова: *системы автоматизированного проектирования, среда жизнедеятельности, строительство, энергоэффективность, энергосбережение, архитектура, инженерные системы зданий.*

Стоимость энергоресурсов, которая растет с каждым годом, ставит перед нами задачи повышения энергосбережения и энергоэффективности зданий. Решение этих задач требует комплексного и глубокого изучения энергопотребления и теплоустойчивости современных зданий.

Энергоэффективность и энергосбережение – это тесно взаимосвязанные между собой понятия. Несмотря на это между ними есть отличия. Сбережение требует экономии, потребления меньшего количества энергии или вовсе отказ от ее использования и при этом является достаточным для получения удовлетворительного результата. Эффективность подразумевает потребление меньшего количества энергии и получение необходимого результата. Таким образом, повышение энергоэффективности означает сокращение потребления энергии, но сокращение потребления энергии не обязательно означает повышение энергоэффективности.

Все здания, формирующие город, являясь геометрическими фигурами и объемными многоугольниками, по-разному реагируют на природно-климатические факторы. Теплоустойчивость зданий напрямую зависит от их форм и объемов. Необходимо отметить, что на объемы тепловых потерь влияют площади внешних поверхностей зданий. Следовательно, самые уязвимые части здания это стены, крыша и пол.

Современное здание имеет сложную схему теплообменных процессов в зависимости от их функционального назначения. При оценке теплотерь необходим анализ теплового баланса здания определение дефицита или избытка тепла, а также влияние наружного климата. Тепловой баланс составляется для условий, когда возникает наибольший дефицит теплоты при заданном коэффициенте обеспеченности. Для гражданских зданий учитываются регулярные тепlopоступления в помещение от людей, освещения, других бытовых источников. В производственных зданиях в расчет принимают период технологического цикла с наименьшими тепловыделениями.

Известно, что тепло передается тремя способами - теплопроводностью, конвекцией и излучением. В различных тепловых процессах участвуют одновременно все три вида теплопередачи с преобладанием какого-либо из них. Суммарные теплотери из любого здания, которые являясь совокупностью сложных теплообменных процессов между внутренней средой, конструкциями здания и внешней средой, происходят вследствие этих трех основных способов теплопередачи. Значительную часть общих теплотерь зданий составляют теплотери через наружные ограждающие конструкции. Оптимизация тепловых потерь зданий путем создания компактных архитектурных решений, позволяющих получить необходимый полезный объем здания при минимальной площади наружных стен, можно отнести к мероприятиям пассивной защиты. Правильная ориентация зданий по

сторонам света, уменьшение наружной поверхности стен за счет простоты фасадов, улучшение теплозащитных качеств ограждений, которое может быть достигнуто за счет уменьшения площади светопрозрачных ограждений можно отнести к этой же группе мероприятий.

Таким образом, пассивная защита касается прежде всего объемно-планировочных решений зданий. В связи с тем, что оптимизация форм строящегося здания является важным экономическим фактором, не требует дополнительных затрат, этот фактор должен быть первым в ряду энергосберегающих мероприятий.

Существующая сегодня математическая модель энергопотребления зданий позволяет проводить анализ энергетической эффективности различных наборов инженерных систем и различных типов ограждающих конструкций зданий. Исходными данными для моделирования здесь являются архитектурные параметры здания (площади различных типов ограждающих конструкций) и район строительства. Модель состоит из модулей, каждый из которых содержит математическое описание одной инженерной системы, и баз данных, содержащих информацию о климатических параметрах 120 городов Российской Федерации и о теплофизических характеристиках промышленно выпускаемых строительных материалов.

Таким образом, результатом использования описанной модели в системе автоматизированного проектирования является анализ годового цикла эксплуатации данного здания с различными вариантами исполнения инженерных систем. Пример суточного графика потребления тепловой энергии на основании моделирования, приведен на рис. 1.

Дальнейшая обработка полученных результатов, с выбранным критерием оптимальности (минимизация расхода тепловой энергии, минимизация расхода условного топлива, минимизация расхода электроэнергии и проч.) позволяет сформировать оптимальный набор инженерных систем исследуемого объекта.

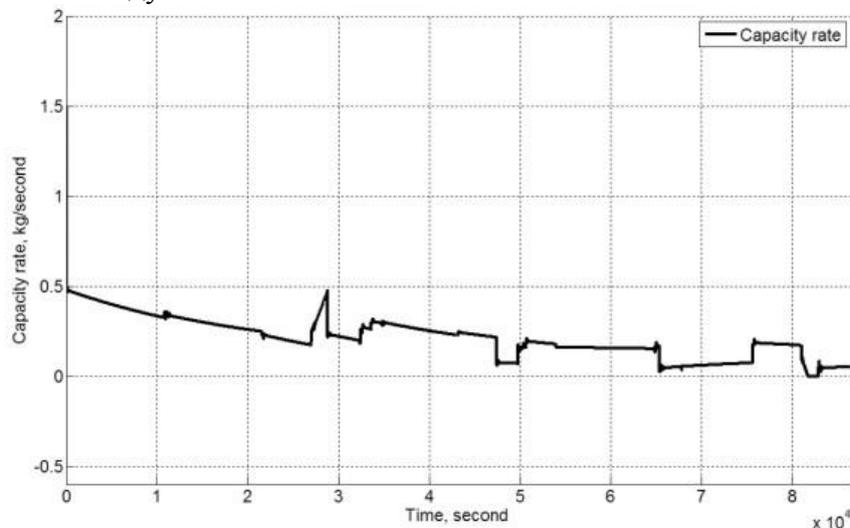


Рис. 1. Суточный график моделирования тепловой энергии

Проведенные исследования показали, что теплопотери кубического или трехэтажного прямоугольного и одноэтажного вытянутого здания с одинаковой отапливаемой площадью и отапливаемым объемом значительно отличаются.

Эффективность геометрической конструкции дома в аспекте тепловых потерь была оценена отношением площади тепловых потерь дома (наружных стен, крыши и пола под фундаментом) к полезной площади дома, которую можно использовать под жилье. Таким образом, было выявлено, что при расходе потерь тепла 100% для кубического трехэтажного здания, 117% - составляет расходы тепла трехэтажного здания прямоугольной формы и 172% - тепло расходуется одноэтажным баракком. Результаты показаны на рис.2. Следовательно, наиболее низкий уровень теплопотерь можно наблюдать в многоэтажных зданиях с высокой компактностью.

Вместе с тем очевидно, что при проектировании современных зданий и комплексов необходимо применять системный подход, заключающейся в первую очередь в рассмотрении функционального назначения здания и совокупности архитектурных и инженерных характеристик.

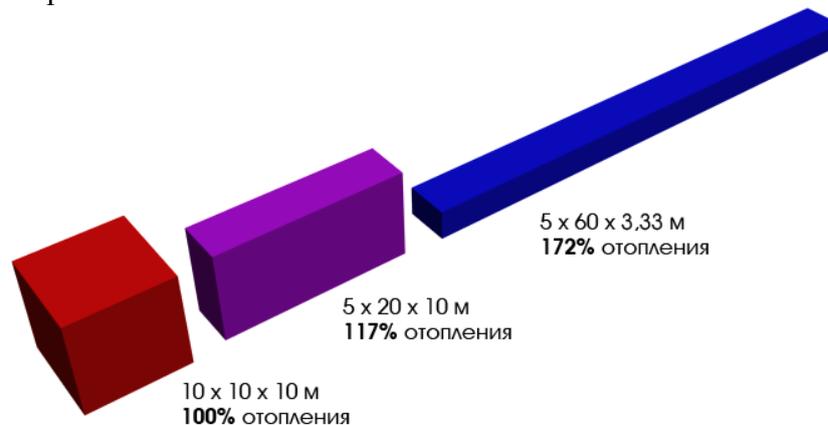


Рис. 2. Диаграмма теплопотребления зданий различных архитектурных форм

Перенос такой подход на процесс автоматизированного проектирования зданий можно сказать, что дальнейшее развитие описанного метода, в частности дополнение алгоритма математического моделирования введением блока анализа архитектурной формы, позволит на стадии проектирования подвергать комплексному анализу совокупность архитектурных и инженерных решений. Такой подход позволит проводить комплексную оптимизацию энергопотребления зданий, вовлекая в рассмотрение совокупность архитектурных и инженерных решений.

Список литературы

1. Волков, А.А. Интеллект зданий: формула// Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – №3. – с. 54.
2. Волков, А.А. Гомеостат в строительстве: системный подход к методологии управления // Промышленное и гражданское строительство. – 2003. – №6. – с. 68.
3. Волков А.А. Интеллектуальные системы управления водопользованием //Вестник МГСУ. 2011. Т. 1. № 1. С. 287-293.
4. Волков А.А., Беяев А.В., Давыдов А.Е., Юдин С.В. // Некоторые задачи автоматизации проектирования в строительстве / Вестник МГСУ. – 2010. – №4. – Т.1. – с. 256–261.
5. Волков А.А., Седов А.В., Челышков П.Д., Зинков А.И. Задачи автоматизации в задачах энергосбережения // Автоматизация зданий. 2010. № 3-5. С. 25.
6. Волков А.А. Интеллектуальные здания – от практики к теории. Многокомпонентная расширяемая модель// Автоматизация зданий. – 2007. – №6(11). – с. 14.
7. Волков А.А. Основы гомеостатики зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. – 2002. – №1. – с. 34–35.
8. Волков А.А., Намиот Д.Е., Шнепс-Шнеппе М.А. О задачах создания эффективной инфраструктуры среды обитания. // International journal of open information technologies. – 2013. – №7 (1). – с. 1–10.
9. Даффи, Дж., Бекман, У. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977.
10. Бродач М.М. Теплоэнергетическая оптимизация ориентации и размеров здания. // Научные труды НИИ строительной физики. М., 1987. Тепловой режим и долговечность зданий.
11. Денисов П.П. Показатель влияния объемно-планировочного решения здания на расход тепла. - "Жилищное строительство", 1981, №1.
12. Гиясов Б.И. Влияние развития инфраструктуры городов на жилую среду// Вестник МГСУ- 2012 г. - №4

05.12.04

В.В. Воронин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет»,
voronin_sl@mail.ru

СИСТЕМНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ СИГНАЛОВ

Разработан системный критерий оценки качества обработки двумерных сигналов применительно к задаче пространственно-временной реконструкции изображений, который учитывает вычислительные затраты и погрешность восстановления.

Ключевые слова: *оценка качества изображений, реконструкция, интерполяции, ошибка реконструкции, системный подход.*

Оценка эффективности обработки изображений представляет актуальную задачу, которая в настоящее время еще не решена [1]. Проблема состоит в том, что те критерии качества, которые используются для анализа одномерных сигналов (среднеквадратическая ошибка, отношение сигнал/шум и т.д.) не всегда дают хороший результат в изображениях, так как необходимо учитывать ряд особенностей зрительного восприятия человека [2].

К наиболее употребляемым количественным оценкам качества изображения относятся: средняя разность, нормированная корреляция, максимальная разность, верность изображения, среднеквадратичная погрешность, максимальная среднеквадратичная погрешность, нормированная абсолютная погрешность, отношение сигнал/шум, максимум отношения сигнал/шум.

В оценке качества изображений используется два основных подхода экспертных оценок: абсолютные и сравнительные [3]. В первом случае наблюдатель должен оценить качество изображения по заранее определенной шкале. При сравнительных оценках наблюдатель должен ранжировать набор конкретных значений.

При разработке систем различного назначения следует учитывать многообразные аспекты решаемых задач. Это и точностные характеристики измерительных или локационных систем, и устойчивость применяемых алгоритмов к различного рода флуктуациям и возмущениям, и вычислительная сложность алгоритмов и, соответственно, сложность аппаратных решений. Конечно, могут учитываться при разработке и другие аспекты – скорость решения задачи, надежность создаваемых средств и другие. Если решение указанных задач стало легко реализуемым для современных вычислительных средств при обработке многих одномерных сигналов (в акустическом и радиодиапазонах), то обработка двумерных, а тем более трехмерных и движущихся изображений представляет собой трудную техническую задачу, требующую для ее решения огромной памяти и быстродействия. Поэтому представляет интерес задача формализации системного подхода при обработке сигналов и изображений с учетом характеристик расхода вычислительных ресурсов.

В анализе изображений после реконструкции областей пикселей большую роль играет визуальная оценка, соответственно представляет интерес оценки качества обработки двумерных сигналов на основе системных критериев применительно к задаче пространственно-временной реконструкции изображений [4].

Представляет интерес разработка критерия оценки качества изображений на основе объединения самых важных показатели качества, определение которых исходит из единой вероятностной модели изображения. Чем большее количество параметров качества изображения учитывается, тем точнее оценка. Тем не менее, для этого метода следует иметь в виду, что при увеличении количества параметров, возрастает его вычислительная

сложность. С целью выбора оптимального количества не коррелируемых критериев предлагается провести эксперименты на тестовых базах изображений.

Для проведения исследований выбрано несколько классов изображений: текстура, геометрические фигуры, естественные изображения. Разрешение всех изображений составляет 600 на 600 пикселей. Количество изображений в каждой базе при проведении экспериментов составляет 100 штук.

Для оценки качества восстановления тестовых изображений моделируются искажения в виде потерянных областей пикселей. В качестве методов восстановления выбраны следующие подходы: метод, основанный на поиске похожих областей [5], метод, основанный на спектральных преобразованиях [6], метод, основанный на вычислении частных производных [7].

Анализ критериев эффективности обработки изображений показывает, что большинство критериев коррелируют явным образом, соответственно на первом шаге можно сгруппировать критерии по нескольким группам.

Таким образом, в первую группу стоит выделить интегральные критерии, которые являются записью нормы Минковского L_p при разных значениях p и различных нормировках. Вторая группа критериев использует точечную оценку, например критерий максимальной ошибки MAX . Третья группа критериев основана на моделировании модели человеческого зрения, при этом используются следующие критерии: оценка уровня адаптации зрительной системы LQ , метрика структурного соответствия $SSIM$ критерий заметности ($ASVS$), степень заметности (DN). В качестве экспертной оценки используется средний балл.

Системный критерий оценки качества обработки двумерных сигналов с использованием вектора эффективности можно записать в общем виде:

$$Q = \eta(Q_1, Q_2, \dots, Q_n),$$

где в качестве показателей Q_i могут быть использованы показатель адекватности представления сигнала, показатель функциональной устойчивости, показатель сложности (алгоритма, системы).

Под адекватностью понимается показатель точности (погрешность в том или ином смысле), расстояние в некотором метрическом пространстве между исходным сигналом и его сжатым представлением и т.д. Показатель сложности характеризует расход ресурсов при реализации системы или вычислительных алгоритмов (число вычислительных операций, быстродействие, объем памяти, число элементов аппаратной структуры и прочее).

В результате анализа можно записать системный критерий в следующем общем виде:

$$Q = Q_1^{q_1} \cdot Q_2^{q_2} \cdot Q_3^{q_3},$$

где $Q_1 = 1 - RMSE = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (s_{i,j} - \bar{s}_{i,j})^2}{(I-1) \cdot (J-1)}}$, $i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}$,

$$Q_2 = SSIM = \frac{(2 \cdot \mu_s \cdot \mu_{\bar{s}} + C_1) \cdot (2 \cdot \sigma_{s\bar{s}} + C_2)}{(\mu_s^2 + \mu_{\bar{s}}^2 + C_1) \cdot (\sigma_s^2 + \sigma_{\bar{s}}^2 + C_1)},$$

μ_s – среднее s ; $\mu_{\bar{s}}$ – среднее \bar{s} ;

σ_s^2 – дисперсия s ; $\sigma_{\bar{s}}^2$ – дисперсия \bar{s} ; $\sigma_{s\bar{s}}$ – ковариация s и \bar{s} ; $C_1 = (k_1 \cdot L)^2$ и

$C_2 = (k_2 \cdot L)^2$ две переменных; L динамический диапазон пикселей; $k_1 = 0.01$ и $k_2 = 0.02$ константы,

$Q_3 = W$, W – затраты аппаратных и вычислительных ресурсов,

q_1, q_2, q_3 – весовые коэффициенты.

На рисунке 1 приведена зависимость функция принадлежности для ограничений (затрат) $\mu_H(N)$. При построении следует учитывать связь количества вычислительных операций со значением N , то есть величина $l = \varphi(N)$ и возможности реализации алгоритма, определяемые также методом экспертных оценок. Для примера в таблице 1 приведены значения $\mu_H(N)$.

Таблица 1 - Коэффициент корреляции для различных методов вычисления метрики качества изображений

N	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5
$\mu_H(N)$	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0

На рисунке 1 приведены зависимости $Q_1(N)$, $Q_2(N)$ и $Q_3(N)$ для экспериментальных данных.

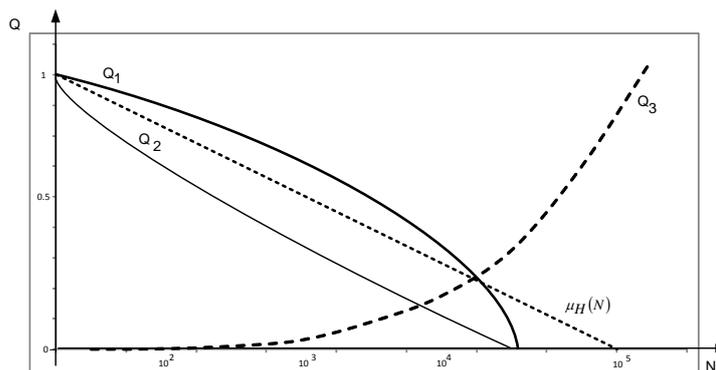


Рис. 1 - Зависимости функций принадлежности целей и ограничений, построенные на основе теоретических результатов и экспертных оценок

На основе проведенных исследований выбраны следующие значения весовых коэффициентов $q_1 = 1$, $q_2 = 1$, $q_3 = -10^{-5} \cdot N + 1$ и системный критерий в следующем виде:

$$Q = Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3^{-10^{-5} \cdot N + 1},$$

Таким образом, использование теории нечетких множеств в задачах непараметрического распознавания сигналов позволяет согласовать формализованные и слабо формализованные данные и достигнуть компромисса между эффективностью (достоверностью распознавания) и сложностью (время на обучение и распознавание, объем оборудования, объем памяти) систем распознавания.

Предложенный подход может быть обобщен на многие реальные изображения и другие методы обработки [8]. Стоит отметить, что выбор весовых коэффициентов показателей качества представляет самостоятельную задачу, которая может быть решена с использованием экспертных оценок.

В заключении можно сделать следующий вывод:

Разработан системный критерий оценки качества обработки двумерных сигналов применительно к задаче пространственно-временной реконструкции изображений, который учитывает вычислительные затраты и погрешность восстановления.

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений // М.: Техносфера, 2005. – С. 1072.
2. Приоров А.Л., Ганин А.Н., Хрящев В.В. Цифровая обработка изображений // М-во образования Рос. Федерации, Яросл. гос. ун-т им. П. Г., 2001. Пер. с англ., М.: Мир. – С. 312.
3. Орлов А.И. Экспертные оценки // Заводская лаборатория. 1996. Т.62. № 1. С.54-60.
4. Воронин В.В., Марчук В.И., Шерстобитов А.И., Семенищев Е.А. Методы цифровой обработки сигналов для решения прикладных задач. Монография/под. Ред. В.И. Марчука – М.: Радиотехника, 2012. – 128 с. ISBN 978-5-88070-303-6.
5. Criminisi A., Perez P., and K. Toyama. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting// IEEE Transactions on Image Processing 13, pp. 1200–1212, 2004.
6. Guleryuz O.G. Nonlinear approximation based image recovery using adaptive sparse reconstructions and iterated denoising// Part I: theory IEEE transactions on image processing 15(3), 2006.
7. Bertalmio M., Bertozzi A. L., and Sapiro G. Navier–Stokes, fluid dynamics, and image and video inpainting// Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., pp. I-355–I-362, 2001.
8. Воронин В.В., Рыжов В.П. Системный подход в обработке сигналов и изображений// Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника, № 5, С.12-16, 2013.

05.07.09

В.А. Воронцов д.т.н., Торрес Санчес Карлос Херардо

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра системного анализа и управления, Аэрокосмический факультет,
Москва, cgerarts@yahoo.com.mx

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА СХЕМНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ СПУСКАЕМЫХ АППАРАТОВ

В работе исследуется задача формирования схемно-технических решений малогабаритных автоматических космических спускаемых аппаратов (МАКСА) и его системы ввода в действие (СВД) для доставки полезной нагрузки на поверхность Земли. Выбраны схемообразующие признаки, позволяющие определить количество вариантов взаимосвязанных схемно-технических решений МАКСА и его СВД.

Ключевые слова: *малые спускаемые аппараты, космические аппараты (КА), проектирование КА, орбитальный аппарат.*

Одним из наиболее активно развивающихся и перспективных направлений развития космической техники является создание малых космических аппаратов, в состав которых входят мини спускаемые аппараты. Результаты научных исследований, технологических или биологических экспериментов могут быть доставлены с орбиты Земли с помощью спускаемых аппаратов, торможение которых в атмосфере осуществляется с помощью жестких аэродинамических экранов, парашютных систем или надувных тормозных устройств. Работы по этому направлению признаны актуальными и проводятся уже длительное время в России и еще более интенсивно за рубежом, где крупнейшими производителями малых КА являются компании США, Великобритании, Франции и Германии.

Задача разработки малых спускаемых аппаратов была исследована в программе изучения Луны. В 1970 году в составе программы «Луна-16» был разработан малый возвращаемый аппарат сферической формы, масса которого составляла 36 кг, а диаметр 50 см. Главным результатом полета "Луны-16" стала первая в мире доставка автоматическим аппаратом на Землю образцов лунного грунта. Общая масса колонки грунта, доставленного "Луной-16", составила 101 грамм [2].

В 1978 г. для проведения исследования атмосферы Венеры, была запущена станция «Пионер-Венера 2», имевшая в своем составе четыре спускаемых аппарата. Из них один имел наибольшую массу 350 кг при диаметре 1,5 м, а три остальных — массу 86 кг при диаметре 71 см. Спускаемые аппараты были изготовлены из титана в форме шара с таким расчетом, чтобы они могли выдержать давление до 100 атм. Эти спускаемые аппараты не были предназначены для осуществления мягкой посадки на планету, они лишь выполняли роль зондов, собирающих данные об атмосфере в процессе падения [1].

В 1996 году в России был запущен автоматический КА «Марс-96», в состав которого входили две малые автономные станции и два пенетратора, которые должны были обеспечить спуск в атмосфере с использованием надувного тормозного устройства (НТУ) и парашюта (ПС). В 90-е годы прошлого века и в начале наступившего тысячелетия разрабатывалось несколько проектов, предусматривавших разворачивание на поверхности Марса сети малых автономных станций: «MESUR», «MARSNET», «INTERMARS», «MARS-EXPRESS», «NETLANDER», «MICROMARS», «BEAGLE-2», «METLANDER». В настоящее время рассматривается несколько вариантов использования опыта разработки малой марсианской автономной станции в проекте «EXO-MARS» [3,4,5].

В 1999 г. был запущен КА «Стардаст», который 2 января 2004 г. достиг своей цели, сблизившись с кометой Вильда 2 на расстояние 240 километров. В 2006 г. капсула с образцами кометного вещества вернулась на Землю. На скорости 12,9 км/с она вошла в атмосферу Земли и успешно приземлилась в пустынной местности штата Юта [6].

В 2006 г. блестяще осуществлен проект «CASSINI» с доставкой в атмосферу Титана СА «HUYGENS».

Космический аппарат Хаябуса, Японского агентства аэрокосмических исследований, предназначенный для изучения астероида Итокава, в 2010 успешно доставил образцы его грунта на Землю. Масса возвращаемого аппарата составила 16,8 кг, диаметр 0,59 м.

Несмотря на относительно большое количество разработанных спускаемых аппаратов, методика их формирования и выбора схемного решения к настоящему времени является мало формализованной, требующей привлечения специалистов в качестве экспертов, чтобы компенсировать отсутствие моделей и алгоритмов принятия решений.

В настоящей работе рассматриваются особенности выбора схемно-технических решений малых автоматических космических спускаемых аппаратов (МАКСА), предназначенных для доставки полезной нагрузки на поверхность Земли, и их системы ввода в действие.

Под схемным решением будем понимать выбор рациональной схемы из совокупности принципиальных технических решений по спускаемому аппарату в целом и некоторым его агрегатам (подсистемам), определяющим его эффективность [7].

Система ввода в действие – последовательность процессов и состояний, которые позволяют, при определенных условиях, характеризовать начало работ и эксплуатацию одной или нескольких систем. Система также обеспечивает крепление элементов спускаемого аппарата, разделение и сброс элементов конструкции, ввод парашютной системы в соответствии со схемой функционирования, и т.д.

При проектировании и эксплуатации спускаемых капсул (СК), возвращаемых с орбиты на Землю, необходимо рассматривать большое количество технических решений по его подсистемам и спускаемому аппарату в целом. В связи с этим, важной задачей является выбор наиболее рациональных схемно-технических решений разрабатываемых объектов.

Разработка малых спускаемых аппаратов на этапе формирования технических предложений начинается с формулировки соответствующих требований в зависимости от технического задания и цели экспедиции (исследования атмосферы, исследования поверхности, забор грунта, доставка результатов экспериментов с орбиты на Землю, и т.д.). Исходя из анализа задачи экспедиции, определяются требования к ее решению, затем рассматривается выбор общего схемного решения спускаемого аппарата и его параметров, обеспечивающих выполнение технического задания.

Задача выбора схемного решения ввода в действие спускаемого аппарата относится к проектным задачам высокого уровня, когда определяется облик исследовательского космического аппарата в целом [3].

К особенностям схемных решений нужно отнести прежде всего [3,4,5]:

- схемы экспедиции;
- структурные схемы разрабатываемого объекта и его систем;
- схемы спуска;
- схемы ввода;
- схемы расположения спускаемого аппарата на базовом аппарате;
- схемы разделения;
- схемы функционирования (траекторные операции);
- схемы взаимодействия с другими аппаратами экспедиции, и др.

Отечественный и зарубежный опыт разработки спускаемых аппаратов различного назначения указывает на большое разнообразие возможных решений как спускаемых аппаратов, так и систем ввода их в действие, которые могут быть классифицированы по самым различным признакам. В схемных решениях МАКСА представляется возможным выделить следующие схемотобразующие признаки, позволяющие определить количество

вариантов взаимосвязанных схемно-технических решений МАКСА и его систем ввода в действие:

- тип (характер, класс) спускаемого аппарата,
- характер ПН,
- геометрия СА,
- конструкция СА,
- применяемые материалы,
- расположение СА в составе служебного модуля и его конструкция,
- тип (характер, класс) системы торможения,
- тип (характер, класс) систем разделения,
- стоимость,
- масса ПН,
- масса СА,
- способ полета в атмосфере, аэродинамическое качество;
- условия входа в атмосферу,
- момент ввода в действие и условия ввода дополнительных средств торможения,
- расположение средств торможения в СА,
- тип (характер, класс) систем разделения.

Ниже, в сжатой форме, под этим углом зрения рассмотрены некоторые из вышеупомянутых признаков.

Тип спускаемого аппарата. Спускаемые аппараты различаются способом спуска в атмосферу (баллистический, скользящий, планирующий), способом торможения (спуск баллистический; с двигательной установкой, с аэростатной системой на конечном этапе, с роторным тормозным устройством (РТУ), с надувным тормозным устройством (НТУ), с парашютной системой (ПС), конструктивным исполнением (закрытые и открытые).

Форма СА. Сферическая, «фара», «зонтик», несущий корпус, крылатая.

Материал оболочки СА. Абляционные материалы низкой, средней и высокой плотности.

Тип системы разделения. Механические, пиротехнические, пиромеханические и детонационные, электромеханические.

Момент ввода спускаемого аппарата в действие. Время и точка входа в атмосферу, ночная или дневная сторона планеты, северное или южное полушария, условия радиовидимости с наземных пунктов наблюдения в начальный момент и во время спуска и т.д.

Схема подвески под парашютами. Если в составе спускаемого аппарата имеются две или несколько составных частей, то могут рассматриваться альтернативные схемы параллельного или последовательного функционирования и, соответственно, использования одной общей или двух парашютных систем. Подвеска с различным количеством узлов крепления, с вертлюгом или использованием фала.

Полезная нагрузка является наиболее сложной и дорогостоящей составляющей МАКСА. Поэтому практически во всех исследованиях, проведенных до настоящего времени, в качестве основного критерия эффективности (критерия качества) СА принималась масса ПН, которая доставляется на поверхность планеты или в ее атмосферу.

Каждый признак характеризуется определенным количеством вариантов возможной реализации, каждый из которых несет в себе свои достоинства и недостатки. При этом возникает большое число комбинаций, которые базируются на вышеприведенных признаках. Однако, число возможных комбинаций может быть существенно сокращено не только за счет несовместимых разновидностей, но и по другим соображениям. В частности, по некоторым из вышеприведенных признаков решения могут быть приняты ранее при формировании системы более высокого уровня, и тогда эти признаки будут определены в техническом задании на разработку спускаемого аппарата [7]. Кроме того, большое влияние на выбор возможных комбинаций имеют мировой опыт разработки подобных аппаратов, возможности потенциальных субподрядчиков, заводов - изготовителей и т.д.

Одна из ключевых проблем при выборе схемного решения – это выбор схемы спуска и торможения в атмосфере. Этот выбор оказывает влияние на массо-габаритные и геометрические характеристики СА, на аэродинамические характеристики, на выбор системы разделения, на характеристики механического нагружения и т.д.

При выборе схемы спуска и торможения имеется возможность рассмотреть более детально каждый из выбранных вариантов. Для этого проводится декомпозиция схемы спуска, что позволяет идентифицировать факторы, возмущения и ограничения, участвующие на каждом этапе полета СА.

В качестве основных непрерывных параметров предложено рассматривать:

- траекторные параметры;
- высоту;
- скорость;
- скоростной напор;
- время функционирования;
- тепловые потоки;

Очевидно, что на принятие схемных решений по СА и системе его ввода влияет большое число факторов, которые по отношению к исследуемому объекту следует рассматривать как «внешние условия», которые здесь представляются в трех группах [3,4]:

- условия атмосферы и рельеф поверхности исследуемого небесного тела;
- научные задачи и особенности оборудования для их реализации;
- конструктивные особенности базового космического аппарата.

На следующем шаге разработки каждой из концепций определяется геометрия и предварительные массовые характеристики аппарата. Многие исследования в процессе проектирования (аэродинамический анализ, расчет нагрузок и т.д.) в качестве исходных данных используют геометрическую модель [7].

Далее проводится аэродинамический анализ, в первую очередь, с целью определения коэффициентов аэродинамических сил и моментов. При этом требуется сформировать математические модели, в которых должны учитываться основные проектные параметры, т.е. те параметры, от которых для рассматриваемой схемы решений в наибольшей степени зависят характеристики аппарата. Это, в частности, масса и аэродинамическое качество СА. Таким же образом следует учитывать такие ограничения как максимальная перегрузка, конечная скорость посадки, максимальный скоростной напор, тепловые потоки и т.п.

Результаты аэродинамического и траекторного анализов, а также определенные ранее геометрические и массо-габаритные характеристики аппарата позволяют осуществить оценку тепловых режимов на представляющих интерес участках поверхности в произвольный момент времени.

Далее, после траекторного анализа и тепловых расчетов появляется возможность исследовать выбор теплозащитных и конструкционных материалов. А также привести анализ выбора схем торможения (применения ПС, НТУ, РТУ и др.).

Из-за сложности схемных решений разрабатываемых объектов, для поиска наиболее рациональных из них, использовались в основном вариантыные расчеты, не исключая при этом экспертных оценок и традиционных численных методов оптимизации. Схема (алгоритм) исследования приведена на рис. 1. Данные, полученные по результатам вышеупомянутых работ, позволяют осуществить оценку основных стоимостных показателей разрабатываемого аппарата.

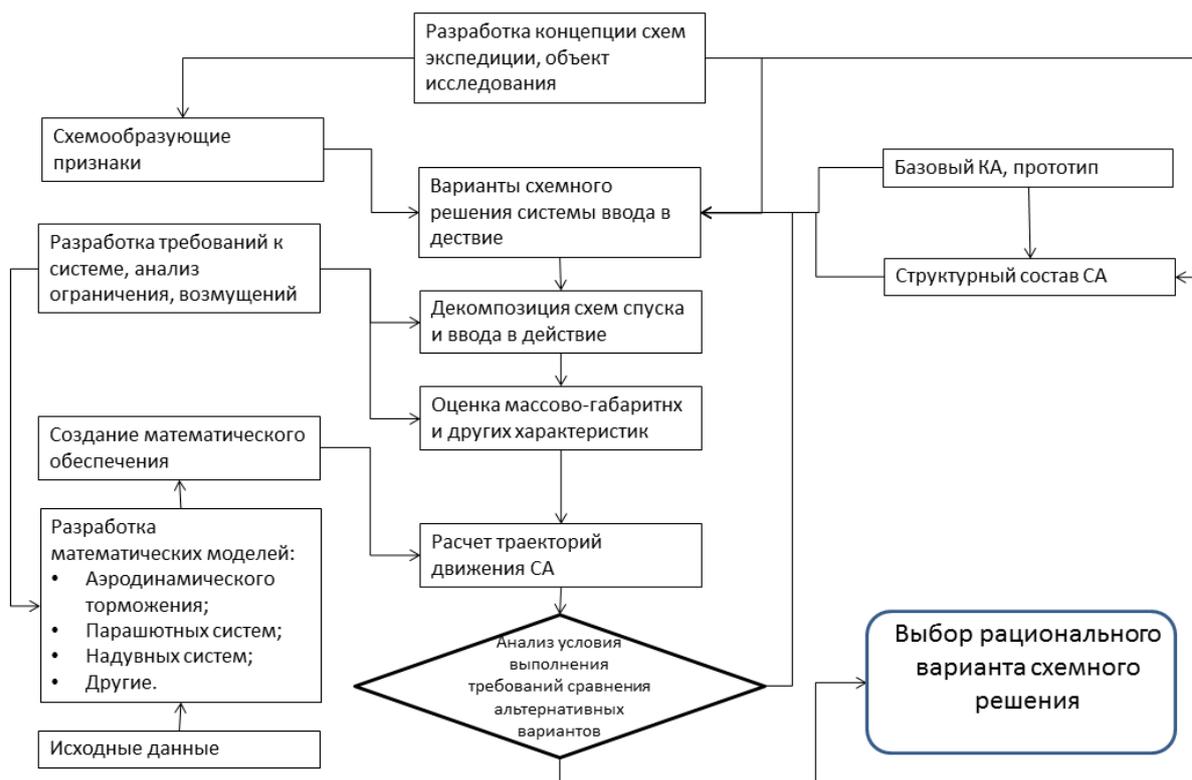


Рис. 1 - Алгоритм исследования схемно-технического решения

Заключение

1. Проведен анализ особенностей схем функционирования малых спускаемых аппаратов в Земных условиях, были выделены схемообразующие признаки и факторы, влияющие на формирование схемных решений малых автоматических космических спускаемых аппаратов и систем ввода их в действие.

2. Предложен методический подход и технические решения по выбору основных проектных параметров на ранних этапах проектирования для обеспечения ввода в действие малых спускаемых аппаратов.

Список литературы

1. Попов Е.И. Спускаемые аппараты, издательство "Знание" Москва 1985.
2. Автоматическая станция "Луна-16" // официальный сайт ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» [Электронный ресурс] URL: <http://www.laspaces.ru/rus/luna16.html> (дата обращения: 11.08.2014)
3. Воронцов В.А. Проектирование аэростатных зондов для исследования планет солнечной системы: учеб. пособие / Под ред. К.М. Пичхадзе. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009. 88 с.
4. Воронцов В.А. Проектирование средств десантирования и дрейфа в атмосферах планет и их спутников: учеб. пособие / Под ред. К.М. Пичхадзе. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2011. 70 с.
5. Воронцов В.А., Пичхадзе К.М. Методологические основы формирования схемных решений средств десантирования и дрейфа в атмосферах планет и их спутников / Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований / Под ред. В.В. Ефанова, К.М. Пичхадзе: В 2-х т. Т.1. М.: Изд-во МАИ, 2012. С. 9-54.
6. МОФ «АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЙ ФОНД» [Электронный ресурс] URL: http://aviaspace.ru/calendar/section/events/vernulas_na_zemlyu_spuskaemaya_kapsula_amerikanskogo_ka_stardast_zvezdnaya_pyl_s_obraztsami_veshchestva_komety_vilda- (дата обращения: 10.09.2014)
7. Сердюк В.К. Проектирование средств выведения космических аппаратов: учеб. пособие для вузов 1 под ред. А.А. Медведева. М: Машиностроение, 2009. 504 с.

05.22.10

Д.М. Вохмин, Н.С. Захаров

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье рассматривается вопрос взаимосвязи факторов условий эксплуатации автомобиля и надёжности форсунок двигателя. На основе данных об изменении параметров технического состояния по наработке рассмотрены вероятности сохранения регулировочных параметров в пределах допусков. Установлены наработки до достижения предельно допустимых значений в зависимости от факторов условий эксплуатации.

Ключевые слова: *надёжность, среднетехническая скорость, форсунка, наработка, ресурс.*

Экономичность работы автомобиля, оснащенного дизельным двигателем, в значительной степени зависит от надежности распылителя и форсунки, которая в процессе эксплуатации неуклонно изменяются в сторону ухудшения [2].

Режим работы автомобиля влияет на интенсивность изменения технического состояния топливной аппаратуры, что ведет к изменению наработок на достижение предельно допустимого состояния.

Существующие нормативы периодичности технического обслуживания (ТО) недостаточно учитывают влияние режима работы автомобилей на изменение надежности форсунок. Это ведет к преждевременному выходу из строя узлов и деталей топливной аппаратуры, а также эксплуатации автомобилей с неисправной системой подачи топлива [1]. Следствие этого - увеличение числа отказов автомобилей, снижение безопасности движения, экологической безопасности, повышение расхода топлива, снижение мощности двигателя и, как следствие, снижение эффективности использования подвижного состава в целом.

Поэтому необходимо отметить актуальность исследований, направленных на изучение закономерностей изменения параметров технического состояния форсунок при различных скоростных режимах эксплуатации автомобилей, оснащенных дизельными двигателями, и совершенствование на этой основе методики корректирования периодичности ТО.

На основе предварительного анализа была выдвинута гипотеза о том, что условия работы двигателя, определяемые среднетехнической скоростью эксплуатации автомобиля, существенно влияют на изменение технического состояния форсунок. В частности, предполагалось, что происходит изменение параметров топливоподачи.

Для проверки этой гипотезы были выявлены показатели работы форсунки, позволяющий объективно оценивать протекание рабочих процессов в цилиндрах двигателя путем изменения параметров топливоподачи: коэффициент стабильности λ , герметичность запорного конуса δ , коэффициент закоксованности K , неравномерность топливоподачи σ , твердость металла распылителя H .

Применительно к условиям реальной эксплуатации особенно актуально сочетание наработки и средней технической скорости эксплуатации. Так, если один автомобиль эксплуатируется преимущественно за городом, а другой – преимущественно в городских условиях, то их условия эксплуатации будут существенно отличаться.

Учесть случайные изменения условий и интенсивности эксплуатации в аналитической модели невозможно, поэтому для изучения рассматриваемого процесса необходимо использовать имитационная модель [3].

Для моделирования закономерности формирования реализуемого ресурса форсунок система «Время – реализуемый ресурс» структурирована, затем на основе локальных моделей взаимодействий элементов скомпонована модель системы в целом. Укрупненная блок-схема модели представлена на рис. 1.

Для оценки адекватности имитационной модели генерировались выборки ресурсов форсунок при различных условиях эксплуатации. Полученные данные сравнивались с фактической долговечностью в этих условиях. Анализ результатов имитационного эксперимента показал, что различие расчетных и фактических средних ресурсов форсунок не превышает 10 % и в среднем составляет 7,6 %, что свидетельствует о достаточной адекватности модели.

На имитационной модели проведен эксперимент для оценки влияния наработки и средней технической скорости на изменение параметров технического состояния форсунок, а также определения наработок до достижения предельного состояния. Фрагмент результатов приведен на рис. 2.

Ниже приведены модели закономерностей влияния средней технической скорости на 90%-е наработки до достижения предельно допустимых значений по параметрам технического состояния форсунок:

$$\begin{aligned}L_{\lambda} &= 4,8 \cdot e^{0,03 \cdot V_m}, \text{ тыс. км}; \\L_K &= 10,4 \cdot e^{0,026 \cdot V_m}, \text{ тыс. км}; \\L_H &= 81,9 \cdot e^{0,029 \cdot V_m}, \text{ тыс. км}; \\L_{\delta} &= 9,1 \cdot e^{0,028 \cdot V_m}, \text{ тыс. км}; \\L_{\sigma} &= 12,8 \cdot e^{0,028 \cdot V_m}, \text{ тыс. км}.\end{aligned}$$

Влияние наработки на коэффициент стабильности по давлению начала впрыска отражено на рис. 3.

На основе полученных результатов разработана методика корректирования периодичности ТО форсунок автомобиля КАМАЗ с учетом изменения средней технической скорости эксплуатации.

Использование полученных результатов создает предпосылки для обеспечения своевременного проведения ТО [4]. При этом обеспечивается заданная вероятность безотказной работы и соответствующий коэффициент технической готовности.

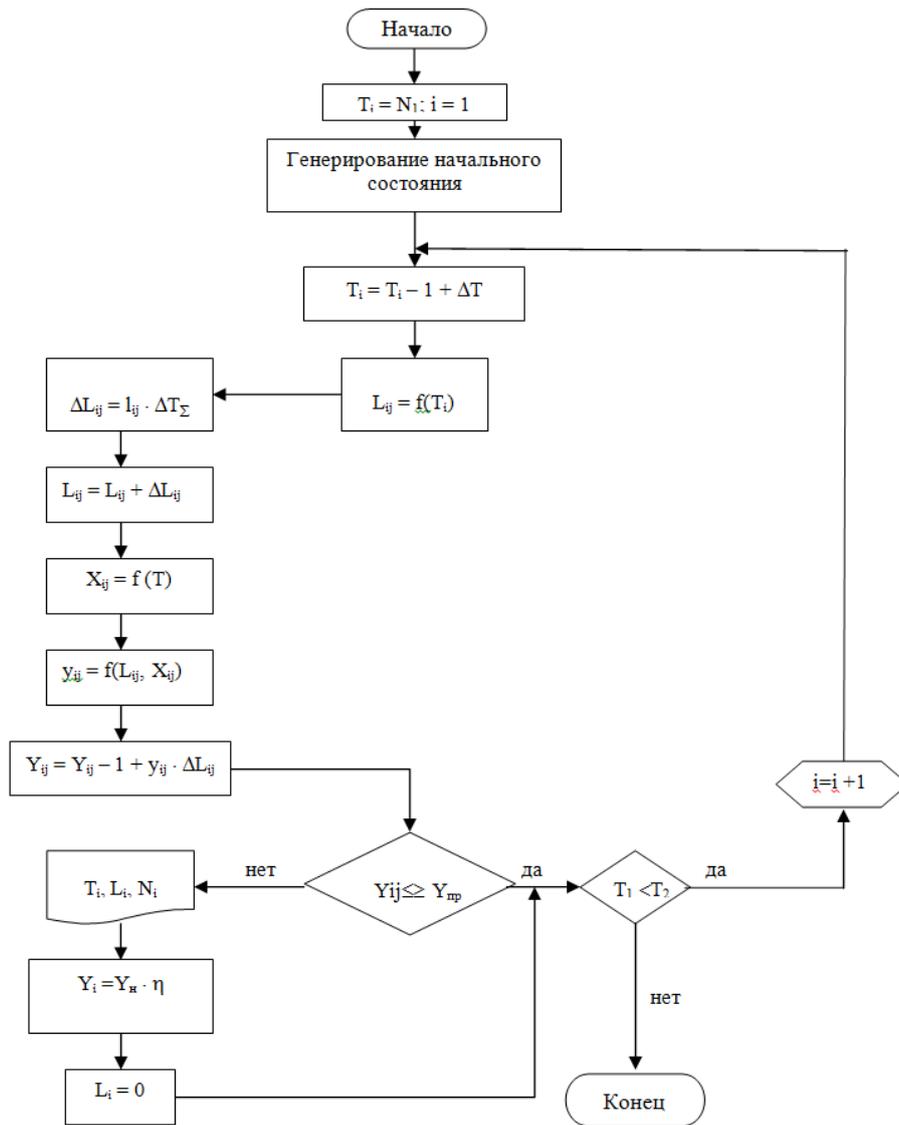


Рис. 1. Укрупненная блок-схема имитационной модели формирования ресурса форсунок

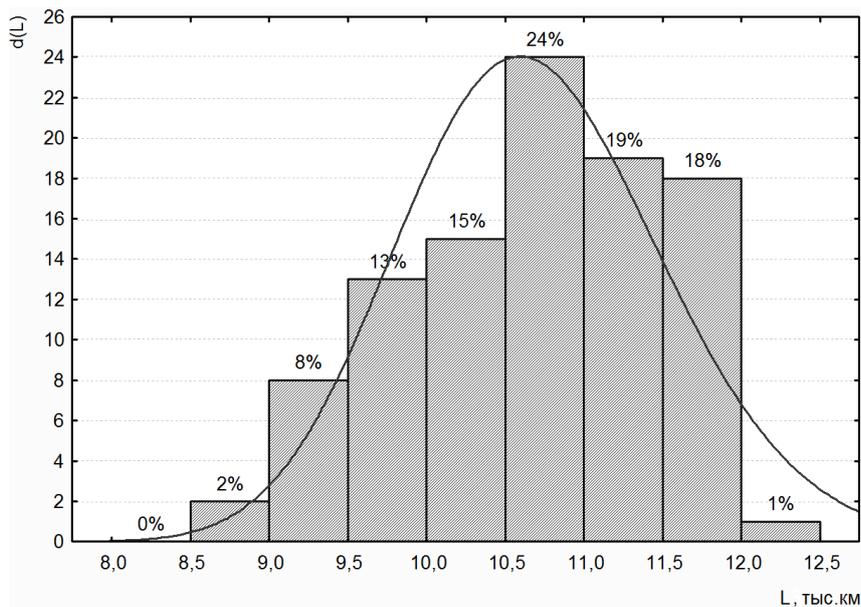


Рис. 2. Распределение наработок форсунок до достижения предельного состояния по коэффициенту стабильности при $V_T = 25$ км/ч

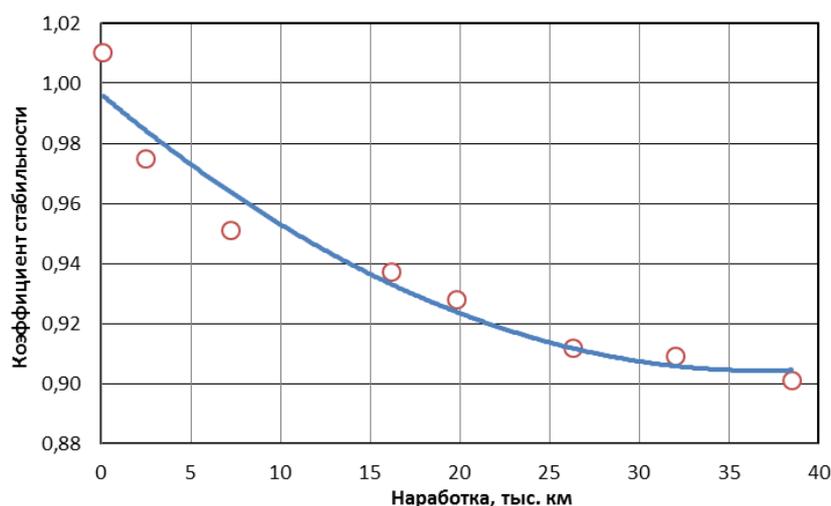


Рис. 3. Изменение коэффициента стабильности в зависимости от наработки

При внедрении мероприятий, направленных на обеспечение своевременного проведения ТО, экономический эффект образуется за счет сокращения числа отказов, а также сокращения трудоемкости обслуживания. В свою очередь это ведет к увеличению времени работы автомобилей на линии и приросту балансовой прибыли.

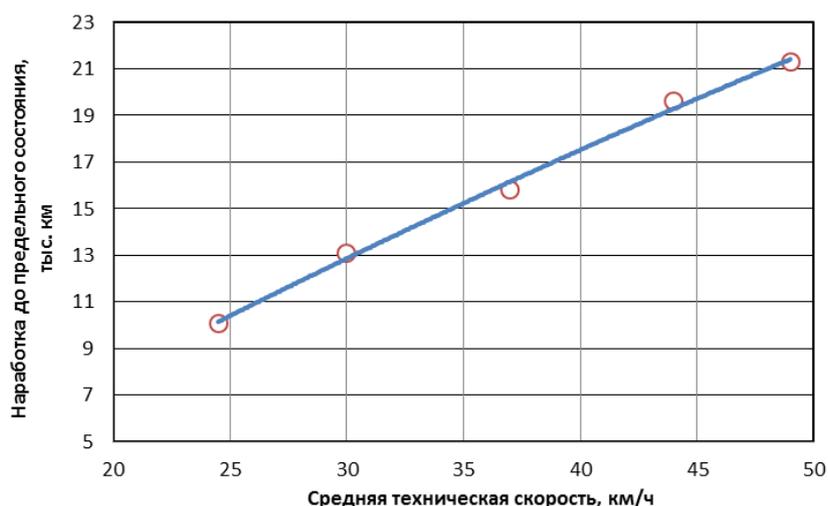


Рис. 3. Влияние средней технической скорости на наработку до достижения предельно допустимого значения по коэффициенту стабильности

Список литературы

1. *Вохмин Д.М.* Влияние режимов работы автомобилей на надежность топливной аппаратуры дизельных двигателей: дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2005. – 212 с.
2. *Ждановский Н.С.* Надежность и долговечность автотракторных двигателей. – Л.: Колос, 1974. – 223 с.
3. *Захаров Н.С.* Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей: Автореферат дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 42 с.
4. *Захаров Н.С.* Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания / Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, А.Н. Макарова // Известия Тульского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2012. – № 12-2. – С. 186–191.

05.07.05

Д.Ф. Гайнутдинова, В.Я. Модорский, А.В. Козлова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
d.gaynutdinova@mail.ru, modorsky@pstu.ru, annvikoz@mail.ru

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КАВИТАЦИИ ПРИ ВИБРАЦИЯХ¹

Представлены результаты численного моделирования кавитационного эффекта при вибрациях стенки в замкнутой трубе, заполненной жидкостью. Вибрационные нагрузки на рабочее тело моделируются движением поршня. Выявлена зависимость параметров кавитации от параметров вибрации. Построена область влияния амплитуды и частоты вибраций на концентрацию кавитационных пузырьков воздуха.

Ключевые слова: кавитация, колебания, частота, амплитуда колебаний, взаимодействие в динамической системе «жидкость-подвижная стенка».

Введение

В некоторых случаях при работе высокотехнологичного оборудования возникают непрогнозируемые режимы, приводящие к его отказам и даже к разрушению. Проектирование таких изделий является сложной и трудоемкой задачей. В данной работе рассмотрена возможность моделирования эффекта кавитации при работе высокотехнологичного оборудования, в частности, при работе центробежных насосов, где может наблюдаться непрогнозируемое снижение напора на выходе. Выдвинуто предположение, объясняющее это явление возникновением кавитационных эффектов в каналах при воздействии вибраций стенок конструкции.

Таким образом, по результатам вычислительных экспериментов построена область возникновения кавитации при различных режимах действия вибраций на конструкцию.

Физическая модель

Физическая модель сформулирована в следующей постановке:

- вибрации моделируются движением поршня (аналог деформируемой стенки) в замкнутой трубе, заполненной жидкостью;
- процессы рассматриваются в динамической трехмерной постановке;
- поток является многофазным, в качестве несущей фазы выбрана модель несжимаемой жидкости (вода), а для несомой фазы – газ (водяной пар);
- учитывается взаимное влияние фаз;
- условие возникновения кавитации – $P_{абс} \leq P_{нас}(T_{абс})$;
- стенки трубы непроницаемые, нетеплопроводные и гладкие (принимается, что все выступы элементов шероховатости лежат внутри вязкого слоя).

Математическая модель

В соответствии с принятой физической моделью разработана математическая модель, которая базируется на законах сохранения массы, импульса, энергии [1-6]. Математическая модель реализована в рамках системы инженерного анализа ANSYS CFX [7]. При этом учитывается конвективно-диффузионный перенос смешиваемых компонент и турбулентный характер течения. Система уравнений замыкается моделью турбулентности, а также начальными и граничными условиями.

¹Работы проводятся при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Грант РФФИ № 14-07-96003-р_урал_a.

Твердотельная модель и задание граничных условий

Расчетная область разбита на конечные объемы (400000 ячеек). На рис.1 показаны твердотельная модель и граничные условия. Задавались следующие граничные условия. Для границы «Стенка» задано условие типа «логарифмический закон». Вибрации стенки заданы уравнением движения поршня $V = V_0 \sin(\omega t)$, где V – скорость поршня, V_0 – начальная скорость поршня (амплитуда), ω – частота колебаний, t – время.

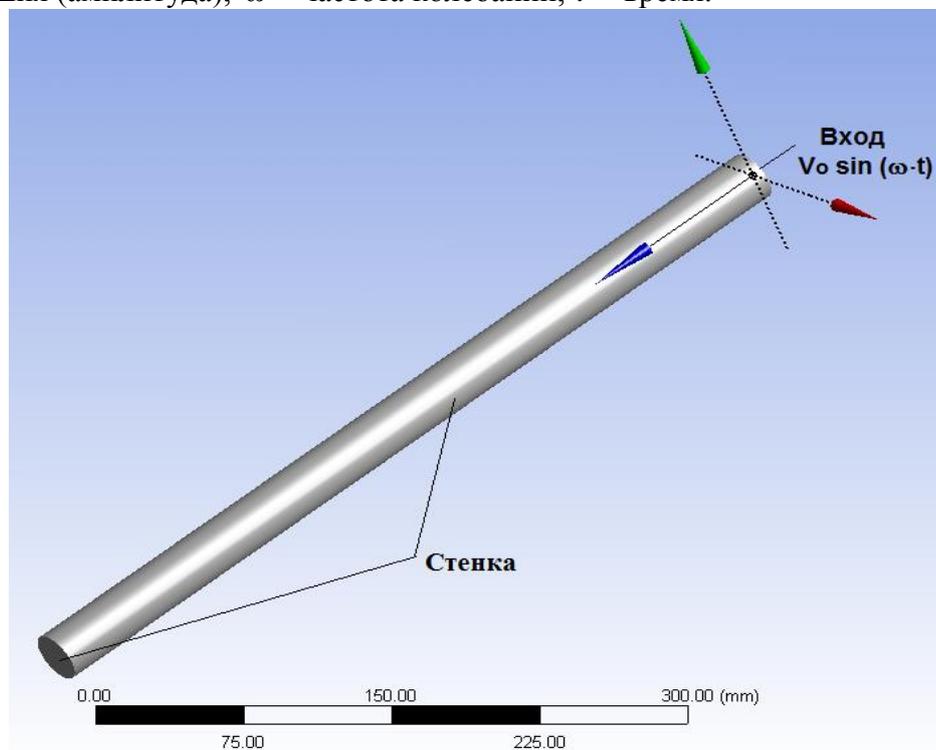


Рис. 1– Граничные условия

Последовательно проводились стационарный и нестационарный расчеты. Шаг по времени устанавливался равным $5 \cdot 10^{-4}$ с, количество итераций для каждого расчета не превышало 1000. Таким образом, суммарное время расчета для вариантов составило 0.5с реального времени.

Проведение вычислительных экспериментов. Результаты

План проведения вычислительных экспериментов предусматривал варьирование значений параметров V_0 в диапазоне 0.001...10м/с и ω - 500...4000 Гц. Все расчеты проводились для значения начального давления в замкнутом объеме 1МПа при начальной температуре $T=20^\circ\text{C}$.

По результатам вычислительных экспериментов, в соответствии с планом, получили различные значения концентрации несомой фазы. Также ее значения варьировались при изменении времени (расчет нестационарный).

По проведенным расчетам, рассматривая все варианты задания граничных условий, мы получили некоторую область возникновения кавитации, где $C > 0$ и недопустимые значения параметров вибраций, при которых кавитация максимальна. По оси x – изменение скорости, y – изменение частоты, z – массовая доля концентрации несомой фазы (рис.2).

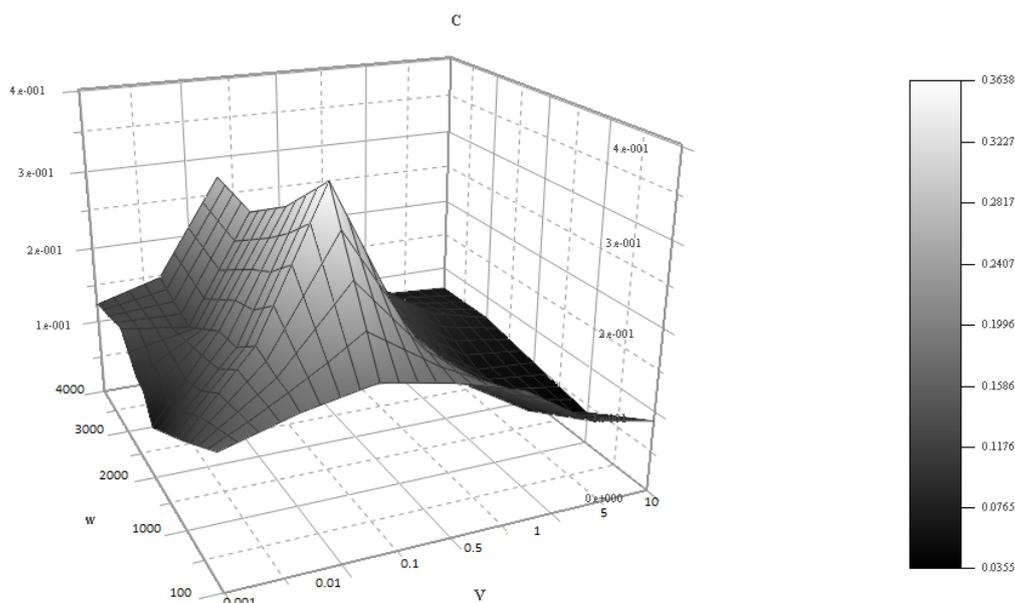


Рис. 2.– Область возникновения кавитации при вибрациях

В ходе анализа полученной области обнаружен максимум в районе частоты равной 2000Гц. При увеличении или снижении частоты вибраций величина концентраций падает. Скорость движения поверхности стенки, соответствующая максимальной концентрации несомой фазы равна 0.1м/с, при увеличении или снижении ее величина концентраций также уменьшается.

Выводы

1. Получена область возникновения кавитации при вибрациях в координатах «амплитуда-частота».
2. Проведена количественная и качественная оценка изменения концентрации несомой фазы в зависимости от возможных сочетаний частот и скоростей вибраций.
3. Обнаружен экстремум (максимум) концентраций несомой фазы и определены значения параметров вибраций, при которых он формируется.

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. Д.Ф. Гайнутдинова, В.Я. Модорский, Г.Ф. Масич, Проектирование технологической платформы для экспериментальных и вычислительных исследований быстропротекающих процессов гидроупругости. Научно-технический вестник Поволжья. №5 2014г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – с. 155-158.
7. Система инженерного анализа ANSYS CFX-Solver Theory Guide. ANSYS CFX.

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

СОСТАВ И АРХИТЕКТУРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДУЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО НАСЫЩЕННОГО АВТОНОМНОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Предложенные состав и архитектура взаимодействия модулей функционально насыщенного автономного веб-приложения позволяют эффективно использовать данный вид приложений в качестве клиентских приложений в распределенных системах информационной поддержки различных этапов жизненного цикла аэрокосмической техники, одновременно решая задачи обеспечения кроссплатформенности, отказоустойчивости и автономности.

Ключевые слова: жизненный цикл изделий, клиентские приложения для систем поддержки жизненного цикла изделий, мобильные приложения, функционально насыщенные веб-приложения.

При рассмотрении концепции клиентских приложений в контексте распределенных систем информационной поддержки этапов жизненного цикла аэрокосмической техники (ЖЦИ) (в частности технического обслуживания) [1], помимо общих требований к обеспечению кроссплатформенности, отказоустойчивости и автономности выделяются различные специфические требования по обеспечению резервирования вводимых пользователем данных и предоставлению автономных ресурсов во время работы приложения. Для удовлетворения всем перечисленным требованиям в разных информационных системах (ИС) предлагаются универсальные компоненты, предназначенные для придания стандартным веб-браузерам функций автономных программных агентов [2] при использовании их практически в любой ИС для поддержки ЖЦИ с веб-интерфейсом. Архитектура и схема взаимодействия разработанных модулей между собой и с пользователем ИС показана на рисунке 1.

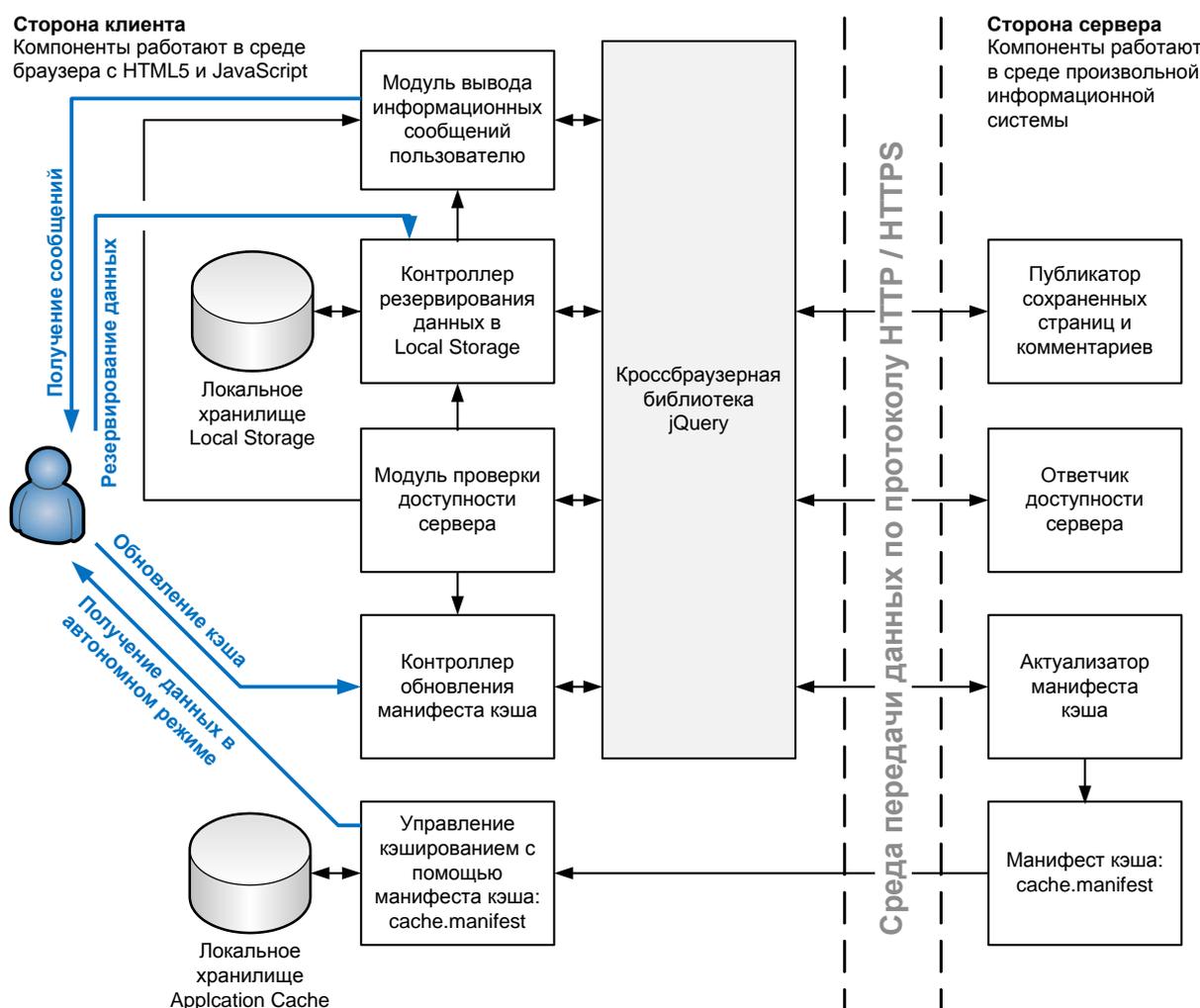


Рисунок 1 – Архитектура разработанных программных модулей и их взаимодействие между собой и с пользователем

Разработанная клиентская часть системы представлена четырьмя компонентами на JavaScript для jQuery, что обеспечивает работу клиентской части в любых современных клиентских устройствах и унификацию взаимодействия с пользователем [3, 4].

Для интеграции разработанных клиентских библиотек с серверной частью имеющейся распределенной ИС для поддержки ЖЦИ используются два серверных программных модуля, которые адаптируются под конкретную ИС. Задачей серверных модулей является передача данных от клиентских программных агентов в хранилище данных ИС для поддержки ЖЦИ, а также актуализация конфигурационного файла хранилища установленного насыщенного веб-приложения – манифеста кэша: cache.manifest.

Модули на стороне клиента структурно представлены:

- модулем вывода информационных сообщений пользователю;
- контроллером резервирования данных в Local Storage;
- модулем проверки доступности сервера;
- контроллером обновления манифеста кэша.

Модуль вывода информационных сообщений пользователю обеспечивает отображение на любой веб-странице ИС без перезагрузки страницы сообщений для пользователя ИС, посылаемых другими модулями.

Если в момент редактирования произошел сбой подключения клиента к серверу, контроллер резервирования данных в Local Storage обеспечивает локальное сохранение вводимых пользователем ИС в формы редактирования страниц или размещения комментариев текстовых данных.

При восстановлении соединения с сервером контроллер резервирования данных осуществляет автоматическую отправку локально сохраненных данных на сервер.

После восстановления сохраненных данных вызывается обновление файла манифеста кэша, чтобы распространить внесенные изменения на все автономные программные агенты.

Модуль проверки доступности сервера осуществляет запросы к веб-серверу ИС для определения его доступности перед первичной отправкой или восстановлением локально сохраненных контроллером резервирования данных.

Контроллер обновления манифеста кэша регистрирует факт отправки на сервер введенных пользователем данных или авторизации пользователя и инициирует процедуру обновления файла манифеста кэша на сервере, чтобы позволить автономным программным агентам в браузерах пользователей обновить свой локальный кэш приложения для актуализации содержащейся там информации.

Клиентский контроллер обновления кэша необходим для обновления локального кэша приложения в случаях, когда:

- невозможна модификация программного кода изменяемого веб-приложения;
- сервер веб-приложения имеет многоуровневую архитектуру (то есть отправляемые клиентом данные посылаются в одно место, а получаемые клиентом данные приходят из другого);
- требуется разделить управляющие сигналы и отправляемые данные.

Модули на стороне сервера структурно представлены:

- публикатором страниц и комментариев;
- ответчиком доступности сервера;
- актуализатором манифеста кэша;
- файлом манифеста кэша – `cache.manifest`.

Публикатор страниц и комментариев разработанного насыщенного приложения представляет собой серверный обработчик AJAX-запросов, который выполняет те же функции, что и стандартные публикаторы страниц и комментариев ИС, за исключением того, что получает данные в фоновом режиме с помощью AJAX и отвечает уведомлениями о получении.

Для встраивания данного модуля в любую ИС поддержки ЖЦИ достаточно заменить вызовы тестовых функций сохранения текстовых данных в БД ИС на вызовы функций, используемых в конкретной ИС.

Ответчиком доступности сервера является программа на сервере, которая выполняет проверку возможности приема сервером отправляемых данных.

Серверный актуализатор манифеста кэша получает запрос от контроллера обновления манифеста кэша при редактировании какого-либо документа ИС, отправлении нового комментария или авторизации пользователя и устанавливает дату и время текущего изменения в файле `cache.manifest`. После этого файл `cache.manifest` будет считаться измененным всеми клиентскими агентами и их локальный кэш приложения будет перепроверен на наличие обновлений на сервере. Таким образом, все пользователи без каких-либо задержек получают всю обновляющуюся информацию в системе.

Для учета синхронизации данных ИС с различными БД предприятия, предусмотрена возможность прямого запуска актуализатора кэша, что позволяет держать пользовательские агенты в курсе любых возможных изменений.

Также существует возможность вызывать актуализатор манифеста кэша внутри модуля авторизации пользователей ИС, чтобы автоматически обрабатывать события авторизации пользователей, и внутри модуля публикатора данных для автоматического обновления манифеста кэша при получении от пользовательского агента каких-либо данных.

Файл манифеста кэша – `cache.manifest` – является статическим файлом конфигурации, который управляет процессом сохранения получаемых от веб-сервера данных насыщенного веб-приложения в постоянном хранилище Application Cache клиента. В файле `cache.manifest` перечислены адреса статических элементов, необходимых для работы клиентского программного агента в автономном режиме, адреса, которые нельзя кэшировать, и адреса

служебных элементов, которые скачиваются с сервера и отображаются пользователю при обращении по неэкшируемым адресам.

Для того, чтобы дать команду программным агентам пользователей обновить кэш сохраненного приложения при появлении обновлений в системе, в файле `cache.manifest` предусмотрено указание даты и времени последнего изменения данных, которые обновляются актуализатором манифеста кэша при появлении очередных изменений на страницах системы.

Таким образом, предложенные состав и архитектура взаимодействия универсальных модулей функционально насыщенного автономного веб-приложения позволяют реализовать кроссплатформенные, автономные, отказоустойчивые клиентские приложения для различных ИС поддержки жизненного цикла аэрокосмической техники с учетом индивидуальных особенностей конкретных ИС и требований, предъявляемых к их клиентским приложениям.

Список литературы

1. *Гинзбург И.Б.* Концепция построения распределенных систем информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники с использованием функционально насыщенных веб-клиентов [Текст]. – Научно-технический вестник Поволжья. №5 2014г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – 392 с. – С. 159-161. – ISSN 2079-5920.
2. *Wooldridge M.* Intelligent Agents: Theory and Practice [Текст] / M. Wooldridge, N. Jennings // Knowledge Engineering Review. – Vol. 10, No 2. – Cambridge University Press, 1995. – P. 115—152.
3. *Pilgrim M.* HTML5: Up and Running. Dive into the Future of Web Development [Текст]. – O'Reilly Media, 2010. – 222 p. – ISBN 978-0-596-80602-6.
4. 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/>

05.26.02

Е.В. Давыдова, Л.Б. Строгонова

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра системы жизнеобеспечения,
Москва, elizaveta_2710@mail.ru, buksan@list.ru

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКИПАЖА ПИЛОТИРУЕМОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ К ПУСКУ

Практика реализации пилотируемых космических полетов показывает, что проблема обеспечения безопасности экипажей пилотируемых космических кораблей по мере усложнения программ полёта становится всё более актуальной и трудно реализуемой на практике. Основная проблема обеспечения безопасности сводится к тому, что ни увеличение дублирующих контуров систем, ни увеличение количества испытательных мероприятий, ни повышение ресурса систем не приводит к увеличению безопасности работы на стартовом комплексе. Первоочередная задача на пути решения данной проблемы – внедрение в практику космонавтики принципиально новых методов дистанционного мониторинга психофизиологического состояния и здоровья и положения в пространстве космонавтов, при срабатывании САС, как средство повышения безопасности. Для этих целей предполагается разработка узла беспроводной сенсорной сети «Спасение».

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация на старте, беспроводная сенсорная сеть, система аварийного спасения.

Обеспечение повышения уровня безопасности экипажа на орбитальной станции в настоящее время сопряжено с серьезными трудностями по следующим причинам:

1. Разрозненный характер обобщения имеющегося опыта.
2. Существующая нормативно техническая база обеспечения безопасности существенно устарела.
3. Известные на сегодня разработки затрагивают лишь отдельные стороны обеспечения безопасности.

Данная проблема предполагает решение, в систематизированном виде, задачи по разработке математических моделей для оценивания уровня безопасности экипажа от момента прибытия на орбитальную станцию до возвращения на Землю;

Основные положения методики построения математического аппарата для оценивания уровня риска экипажа на всех этапах космического основаны на результатах теории принятия решения и исследования эффективности технических систем, теории управления, а также на системном анализе и методах общей системотехники [1].

Общие теоретические положения системного подхода к сложным системам разработаны Г.Х. Гудом и Р.Э. Маколом Оптнером С. в 1-й половине 20 века. Научные обобщения системного характера в области создания и обеспечения безопасности ракетно-космической техники были сформулированы теоретически и опубликованы в работах руководителей ведущих конструкторских бюро космической отрасли только после 80-х годов 20-го века. Тем не менее, научные проблемы по оценке возможностей по снижению степени риска экипажа на всех этапах функционирования орбитальной станции практически не поднимались. «Человеческий фактор» обеспечения безопасности в комплексе с техническими проблемами того же направления не исследовался.

В первую очередь это связано с тем что, для расчета уровня риска функционирования пилотируемой орбитальной станции необходимо увязать работу агрегатов и систем

орбитальной станции с состоянием научно-исследовательской аппаратуры и пилотируемого космического корабля с деятельностью экипажа. Разработчики ракеты-носителя определяли его надежность. Разработчики орбитальной станции определяли надежность агрегатов и систем технологического оборудования. Разработчики корабля рассчитывали надежность систем пилотируемого корабля и определяли степень безопасности экипажа с момента взведения системы аварийного спасения (САС), учитывая надежность орбитальной станции в целом, при этом определение уровня риска возникающего при работе агрегатов и систем с научно-исследовательской аппаратурой не проводилось [2]. Не оценивались психофизиологические возможности членов экипажа, необходимые для безопасной работы и для преодоления чрезвычайных ситуаций. Однако для медико-психологического контроля все данные имелись. Современное развитие медико-биологических комплексов позволяет более определенно решать проблему безопасности связанную с «человеческим фактором» на всех этапах космического полета.

Модель ситуации.

Проблема обеспечения допустимого риска для экипажа связана с выбором направления действий для достижения поставленной цели – снижения потенциального уровня опасности процессов функционирования технических систем, оказывающих влияние на экипаж и сохранение этого уровня в условиях длительной эксплуатации всего комплекса. Модель проблемной ситуации представляется в виде системы:

$$\langle S, A, G, Y, H, \Pi, \psi, K, P, \Theta \rangle \quad (1),$$

где S – множество стратегий, A – множество значений определенных и неопределенных факторов, G – множество исходов операции, Y – вектор характеристик исходов $g \in G$, H – отображение, ставящее в соответствие множествам S и факторов A множество результатов $Y(G)$, Π – показатель эффективности управления, ψ – оператор соответствия «результат – показатель», K – критерий эффективности управления, P – модель предпочтения, Θ – остальная информация о проблемной ситуации.

Таким образом, в модели, формирования облика функции эффективности для обеспечения безопасности экипажа на станции, выделяются следующие операции и этапы:

1. Отображение объекта исследования.
2. Расчленение образа модели обеспечения безопасности на составные части.
3. Выявление общей части образов.
4. Выявление отличительных признаков каждой характеристики объекта исследования.
5. Дополнение выявленных признаков объекта иными, возможными признаками.
6. Построение новых возможных характеристик объекта исследования.

Для существующих комплексов управления сложных технических систем, накоплена определенная информация, которая формирует уровень (U_A) отношений между отображением реальных элементов и процессов комплекса $U_A(R_k)$, представляющую собой упорядоченную совокупность отношений $\{R_k\}$, которыми может быть описан любой из образов $\{S_{Aj}^0\}$.

Одновременно при увеличении числа членов последовательности $\{S_{Aj}^0\}$ выделяется центральная информация I_u модели обеспечения допустимого уровня риска экипажа и периферийная информация I_n для каждого значения S_{Aj}^0 , после чего производится расширение периферийной информации. Если уровень дополненных отношений $U_A^*(R_k)$ определен, то есть строго определены тезаурус, с которым оперирует модель, и синтаксис построения образов $\{S_{Aj}^0\}$, то операция расширения периферийной информации вполне формализуема.

Полагая, что выделение периферийной и центральной информации является сверткой полной информации о всех образах $\{S_{Aj}^0\}$ модели обеспечения допустимого уровня риска экипажа отметим, что развертка расширенной периферийной информации по I_u является обратной операцией и позволяет построить последовательность всех возможных значений $\{S_{Aj}^0\}$, над уровнем отношений $U_A^*(R_k)$.

Таким образом, показатели модели обеспечения допустимого уровня риска экипажа, позволяет включить в известное на сегодня множество показателей даже не указанные в научно-технической документации потенциальные показатели и для всей совокупности показателей определить базовые, которые должны являться аргументами функции полезности.

Выполненный морфологический анализ описанных ранее требований, предъявляемых модели обеспечения технической и эксплуатационной безопасности показал, что определяющими для неё являются следующие показатели:

- Ресурсные показатели, назначенные для средств обеспечения безопасности (R);
- Суммарные затраты на изготовление, амортизацию и эксплуатацию технических средств обеспечения безопасности за время $R - C(R)$;
- Время реакции средств обеспечения безопасности на фактор опасности ($t_{реакции}$);
- Объем работы, выполняемой техническими средствами обеспечения безопасности за время ее живучести, в пересчете на число операций типового набора – $A(R)$;
- Показатель безопасности состояния станции – $P_{внез}$;

Алгоритм анализа работы системы.

Алгоритм анализа работы систем космического корабля, использующий метод «деревьев». Поиск состояний, основан на последовательном анализе достоверных и существенных значений телеметрируемых параметров систем ПКК $i=\{X_i\}$, $i = \overline{1, n}$ и (или) результатов промежуточных вычислений $\{A_k\}$, $k = \overline{1, m}$, выполненных по фактическим значениям X_i . Анализ заключается в сравнении каждого значения с пороговыми значениями $|X_i|, |A_k|$, которые могут назначаться, например, так же, как при описанном выше методе многоуровневого контроля.

В алгоритмах анализа функционирования систем КА, основанных на матрицах состояний, используется положение, что состояние Y_q системы в любой момент времени можно определить многомерным вектором \bar{X} в пространстве параметров $\{X_i\}$ и промежуточных вычислений $\{A_k\}$:

$$Y_q \rightarrow \bar{X} = \{X_i, A_k\}, \begin{matrix} i = \overline{1, n} \\ k = \overline{1, m} \end{matrix} \quad (2)$$

Y_q - текущее состояние бортовой системы КА.

Область изменений каждого X_i и A_k разбивается на интервалы (так же, как и в описанных выше алгоритмах многоуровневого контроля и «деревьев» состояний), и, таким образом, непрерывному значению каждого X_i (A_k) ставится в соответствие некоторое множество дискретных признаков $\bar{a}(\bar{b})$, определяющих нахождение параметров X_i (A_k) в одном из l интервалов:

$$X_i (A_k) \rightarrow \bar{a}(\bar{b}) = \{a_{ij}\}_{j=\overline{1, l}} (\{b_{ij}\}_{j=\overline{1, l}}) \quad (3)$$

Значения $a_{ij}(b_{ij})$ обычно кодируются двоичным кодом, разрядность которого определяется числом выделяемых интервалов.

Тогда каждое Y_q состояние диагностируемой системы может быть описано вектор-строкой, содержащей закодированную комбинацию $\{a_{ij}\}$ и $\{b_{ij}\}$. Совокупность вектор-строк Y_q образует матрицу предусмотренных P – состояний системы:

$$Y = \{Y_q\}, q = \overline{1, p} \quad (4)$$

Три составные части обеспечения безопасности.

Как мы уже упоминали выше, для обеспечения и управления уровнем безопасности на долговременной пилотируемой космической станции, недостаточно решения только технических и управленческих задач. Все эти задачи должны решаться с учетом психофизиологических возможностей человека – «человеческого» фактора. Возможности человеческого организма в условиях космического полета изменяются, в зависимости от индивидуума и влияния на него интенсивности и времени влияния неблагоприятных факторов космического полета. Во многом, процесс адаптации и реадaptации человека к

экстремальным факторам космического полета ещё недостаточно изучен. Существуют методы космической медицины и физиологии, позволяющие с определенной степенью вероятности оценивать возможности человеческого организма в космическом полёте, в том числе и при возникновении аварийных ситуаций. К сожалению, данные методы не оцениваются совместно с техническими и эксплуатационными методами обеспечения безопасности. Именно в интеграции всех составляющих обеспечения безопасности лежит путь к повышению безопасности космических полётов человека. Остановимся на некоторых методах.

Учитывая высокую стоимость создания и эксплуатации пилотируемых космических кораблей (ПКК), цену потерь при авариях и отказах РКТ, проектирование перспективных пилотируемых кораблей нового поколения, необходим новый подход к обеспечению безопасности людей на стартовом комплексе. Это подход лежит в области быстреего внедрения в практику космонавтики принципиально новых методов дистанционного мониторинга за физиологическими параметрами и положением в пространстве космонавтов, при срабатывании системы аварийного спасения (САС). В основе нового метода дистанционного мониторинга лежит принципиально новая разработка, под названием беспроводная сенсорная сеть или иначе «Биосеть». Частной целью исследования является разработка узла беспроводной сенсорной сети (БСС), обеспечивающий постоянный мониторинг за физиологическими параметрами космонавта: частотой сердечных сокращений (ЧСС), частотой дыхания (ЧД), а также отслеживающей пространственное положение космонавта внутри объема капсулы системы аварийного спасения.

Непрерывный медицинский контроль, а также отслеживание пространственного положения космонавта в объеме системы аварийного спасения (САС) позволит:

1. Позволит собирать медицинскую информацию в момент срабатывания САС, то есть в момент сильнейшей ударной перегрузки;
2. Принципиальная новизна данного вида медицинской информации определяется необходимостью повышения безопасности полетов;
3. ЦУП, используя получаемые данные о координатах космонавтов совместно с их физиологическим состоянием в момент срабатывания САС, может более оперативно и точно принимать решения об оказании необходимой реанимационной медицинской помощи, а также проводить правильную эвакуацию из САС.

Известна тяжесть физиологического состояния космонавта при воздействии ударных перегрузок, поэтому при срабатывании системы аварийного спасения становится необходима быстреешая передача информации о физиологических параметрах космонавта и пространственного положения в объеме капсулы САС, координирование действий реанимационной службы по оказанию экстренной медицинской помощи и эвакуации, а как следствие сохранение жизни и здоровья космонавта. Наиболее информативными физиологическими показателями состояния здоровья космонавта являются ЧСС и ЧД.

Беспроводная сенсорная сеть.

Беспроводная сенсорная сеть — это распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. БСС представляет собой распределенную, самоорганизующуюся и устойчивую к отказам отдельных элементов сеть вычислительных устройств с автономным источником питания. Узлы такой системы транслируют сообщения друг через друга, обеспечивая значительную площадь покрытия сетью при малой мощности передатчика. Каждый узел сенсорной сети может содержать различные датчики для контроля за состоянием космонавта, микрокомпьютер и радиоприемопередатчик. Это позволяет устройству проводить измерения, самостоятельно проводить начальную обработку данных и поддерживать связь с внешней информационной системой. Объединенные в беспроводную сенсорную сеть датчики образуют территориально-распределенную самоорганизующуюся систему сбора, обработки и передачи информации. Требования к информации, собираемой

системой непрерывного медицинского контроля состояния экипажа, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Требования к информации по каналу БСС

Информационные каналы, снимаемых параметров	ЧСС:1 ЧД:1 Пространственное положение:6
Частота съема информации ЧСС	5 Гц
Частота съема информации ЧД	0,5 Гц
Частота съема информации о пространственном положении космонавта	2,4 ГГц

На рисунке 1 представлена функциональная схема узла беспроводной сенсорной сети «Спасение», обеспечивающей сбор физиологической информации, а также информации о пространственном положении космонавта.

Основная функциональная обработка данных, собираемых сенсорами, осуществляется на узле, который представляет собой достаточно мощный компьютер, именуемый микроконтроллером. Сенсоры могут обмениваться информацией между собой информацией с помощью приемопередатчиков, работающих в радиодиапазоне.

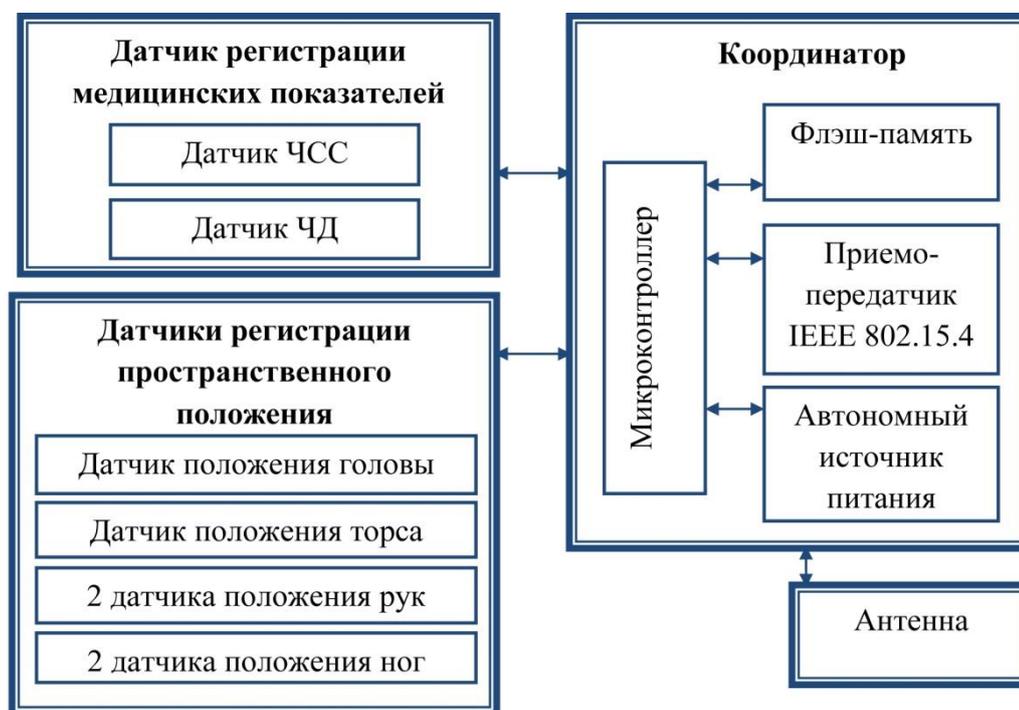


Рис. 1- Функциональная схема узла БСС «Спасение»

В системе определения пространственного положения в качестве датчиков ускорения и углов поворота используются миниатюрные акселерометры и гироскопы. В качестве датчика частоты сердечных сокращений используется нагрудная лента. Нагрудный ремень состоит из двух частей: собственно нагрудного ремня и эластичной ленты. В центре прилегающей к телу внутренней стороны нагрудного ремня находятся два прямоугольных ребристых сенсора. Оба сенсора измеряют частоту сердечных сокращений, по точности соответствующую ЭКГ, и передают эту цифровую информацию координатору. Датчик частоты дыхания представляет собой ту же самую нагрудную эластичную ленту, что и для измерения частоты сердечных сокращений. Эластичная лента для измерения частоты дыхания производит отсчет дыхательных движений, за счет изменения своего сопротивления электрическому току при совершении движений.

На основе разработанной Давыдовой Е.В.[3] математической модели положения космонавта в амортизационном кресле в момент срабатывания САС распределение

перегрузки по креслу определяется различными формулами в зависимости от значения перегрузки СА, n .

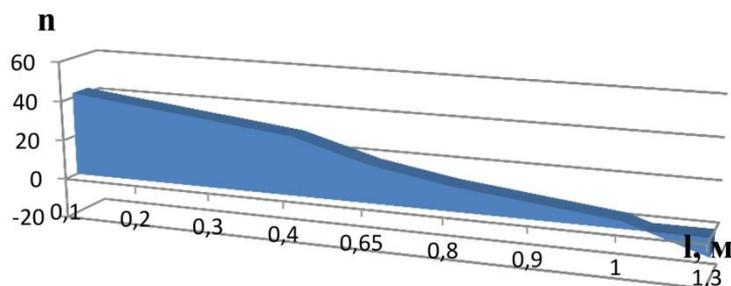


Рис. 2- Гистограмма распределения перегрузки при максимальной перегрузке капсулы САС

Выявлена научная значимость и новизна беспроводной сенсорной сети, как средства для осуществления непрерывного мониторинга за физиологическими параметрами космонавта, а также определения его пространственного положения в объеме капсулы системы аварийного спасения.

Впервые диагностика состояния космонавта осуществляется в момент срабатывания системы аварийного спасения. Постоянно передающиеся в центр управления данные, дают возможность скоординировать работу реаниматологов, что оставляет шанс на сохранение жизни и здоровья космонавта. Отслеживание пространственного положения космонавта и его визуализация, помогает правильно организовать работу спасательных служб, тем самым произвести эвакуацию из объема капсулы САС с минимальной травматизацией за минимальное время.

Выводы

Безопасность космонавта определяется не только надёжностью космического корабля, ракеты-носителя и стартового и технического комплексов. Безопасность космонавта зависит также от качества подготовки экипажа и персонала принимающего участие в разработке, производстве и эксплуатации космической техники, степенью согласования характеристик человека и техники, характером воздействия неблагоприятных условий внешней среды, состоянием здоровья экипажа, организацией и управлением предстартовой подготовкой и полётом, а так же множеством других факторов. Всё это приводит к необходимости комплексного решения взаимосвязанных проблем. В этом случае мы имеем сложную многофакторную систему «внешняя среда – человек – машина» и набор факторов, влияющих на безопасность полёта. Выявления факторов влияющих на безопасность экипажа пилотируемого космического корабля необходимо для построения математической модели для обеспечения допустимого уровня риска экипажа. На этапе подготовки к пуску предлагается использовать теорию принятия решений, а также на системный анализ и методы общей системотехники. Новые технические методы регистрации состояния человека, учитываются при построении математической модели безопасности пилотируемых космических полетов.

Список литературы

1. *Strogonova L.* Mathematics methods and equipment applied for medical and physiological control and support system for groups of people involved into extremely dangerous technological processes. ISTIC Scientific Advisory Committee, London, UK, 2010, pp. 106-13.
2. *Гончар А.А., Толяренко А.В.* К вопросу о постановке проблемы обеспечения качества жизни космонавтов, при проектировании долговременных космических станций. Журнал «Качество и жизнь» №3, спец. выпуск, 2011 г., с.531 -555,. Ф А Госстандарт.
3. *E. Davydova, A. Gonchar, L. Strogonova:* «Mathematical methods in medical control system and spatial control of astronaut in accident at the start». IN-TECH 2014, in-tech.info/download/proc_intech_2014_issn.pdf 56

05.13.15

М.Л. Долженкова к.т.н., В.Ю. Мельцов к.т.н., Г.А. Чистяков

Вятский государственный университет, факультет автоматики и вычислительной техники,
кафедра электронных вычислительных машин,
Киров, maryid@mail.ru, meltsov69@mail.ru, gennadiychistyakov@gmail.com

СХЕМА ПОТОКА ЛОГИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МЕТОДА ВЫВОДА НА БАЗЕ ОПЕРАЦИИ ДЕЛЕНИЯ ДИЗЬЮНКТОВ

В работе предлагается схема потока логических вычислений, описывающая процедуры метода логического вывода делением дизьюнктов на основе определяющего элемента. Построение данной схемы является одним из этапов проектирования, необходимым при разработке архитектуры абстрактной машины логического вывода, поддерживающей выполнение метода. В свою очередь наличие подобной архитектуры позволит реализовать машину как программно, так и программно-аппаратно или полностью аппаратно. При аппаратной поддержке, в большинстве случаев, возможно значительное снижение временных затрат на выполнение вывода за счет использования специализированных вычислителей на базе ПЛИС или СБИС.

Ключевые слова: логический вывод, деление дизьюнктов, потоковые вычисления, машина логического вывода.

Введение

Одной из ключевых составляющих жизненного цикла программного обеспечения (ПО) является верификация. Согласно общепринятому определению [1], под верификацией понимается процесс проверки соответствия одних элементов, создаваемых в ходе разработки и сопровождения ПО, другим элементам, полученным ранее. Именно полнота выполнения этого процесса определяет качество получаемого ПО.

В специализированной литературе данный термин чаще используется в более узком смысле. Под верификацией обычно понимают проверку соответствия готовой программы изначально предъявляемым к ней требованиям – функциональным, реализационным, ограничивающим и т.д. В настоящий момент существует несколько классификаций подходов к верификации [1], однако все они имеют общую черту – значимое место в них отводится формальной верификации. В первую очередь это объясняется тем, что применение формальных методов ведет к существенному повышению надежности как последовательных, так и параллельных программ.

Наиболее перспективным направлением в рамках формального подхода является техника проверки моделей (model checking), суть которой состоит в сопоставлении исполняемой модели объекта верификации и логико-алгебраической модели требований, предъявляемых к нему. Среди основных преимуществ методов этой группы необходимо отметить, во-первых, универсальность (фактически, отсутствуют какие-либо ограничения на модели), и, во-вторых, возможность практически полной автоматизации их выполнения. Вместе с тем, последнее достоинство служит причиной огромной вычислительной сложности model checking. Поэтому актуальной является задача разработки способов и средств для оптимального (прежде всего, с точки зрения временных затрат) осуществления наиболее трудоемкого этапа model checking – этапа непосредственного сопоставления моделей.

Применение логического вывода в формальной верификации

К эффективным путям сокращения временных затрат на сопоставление следует отнести использование математического аппарата теории логического вывода, обладающего высокой степенью параллелизма (при организации вычислений на современных высокопроизводительных комплексах с общей и разделенной памятью) и возможностью

применения широкого спектра эвристик, позволяющих значительно сократить объем требуемых вычислений в сравнении с полнопереборными подходами.

В работе [2] предлагается специализированный метод логического вывода на основе определяющего элемента (МВОЭ), базирующийся на операции деления дизъюнктов [3]. Данный метод предназначен для решения задачи сопоставления структуры Крипке, эквивалентной модели объекта верификации, и формулы темпоральной логики, отражающей предъявляемые к объекту требования. Метод может быть рассмотрен как совокупность следующих процедур: процедуры ограниченного образования остатков, процедуры полного образования остатков, процедуры деления дизъюнктов, процедуры шага вывода и, собственно, самой процедуры вывода. Формальные определения данных процедур, а также алгоритмы их выполнения подробно рассмотрены в работе [2].

Несмотря на преимущества, заложенные в МВОЭ, применение систем верификации, основанных на данном методе, будет существенно эффективней при частичной или полной аппаратной поддержке метода. Для обеспечения такой поддержки необходима разработка архитектуры абстрактной машины логического вывода [4].

Схема потока логических вычислений

При разработке архитектуры были проведены декомпозиция и анализ МВОЭ, что привело к выделению четырех акторных примитивов (V, N, M, U), каждый из которых соответствует некоторому фрагменту метода. Тип актора определяет содержательную часть подзадачи, а связи между ними отражают передачу данных и сообщений между подзадачами. На рисунке 1 представлено графическое изображение акторов.

V -актор соответствует шагу логического вывода. Входными данными для актора являются множества фактов KB_f и правил KB_r , базы знаний, множество текущих остатков c и целевой, выводимый на данном шаге, дизъюнкт d . На выходе актора появляется результат шага вывода P .

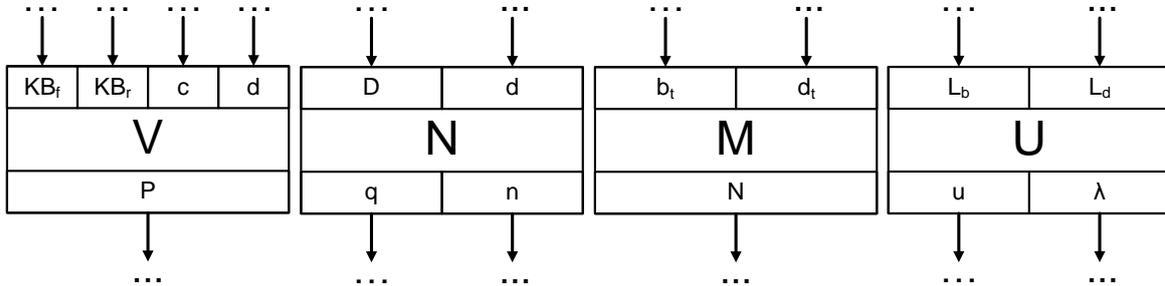


Рис. 1 – Изображение акторов

N -актор соответствует процедуре ограниченного образования остатков. Входными данными являются дизъюнкт-делимое D (правило из базы знаний) и дизъюнкт-делитель d (целевой дизъюнкт шага). На выходе актора появляются частный признак решения q и множество пар новых остатков-делимых и остатков-делителей n .

M -актор соответствует процедуре полного образования остатков. На вход актора подаются остаток-делимое b_t и остаток-делитель d_t . На выход актора появляется множество остатков, полученных от деления b_t на d_t .

U -актор соответствует операции унификации. Входными данными является пара литералов L_b и L_d . На выходе актора появляются результат унификации u и, в случае успешной унификации, подстановка λ , состоящая из пар термов.

Иерархические связи между акторами и их композиция с учетом основных шагов алгоритмов выполнения процедур МВОЭ графически могут быть представлены схемой потока логических вычислений, изображенной на рисунке 2.

На верхнем уровне предлагаемая схема может быть описана как группа взаимодействующих V -акторов. В ходе проверки выводимости целевого утверждения d возможно возникновение ситуации, когда для его доказательства потребуется проанализировать истинность некоторых дополнительных утверждений. В этом случае V -

актор инициирует создание вспомогательных V -акторов (наследников по отношению к исходному), выполняя переадресацию на каждый из них решения одной подзадачи (вывод одного вспомогательного утверждения).

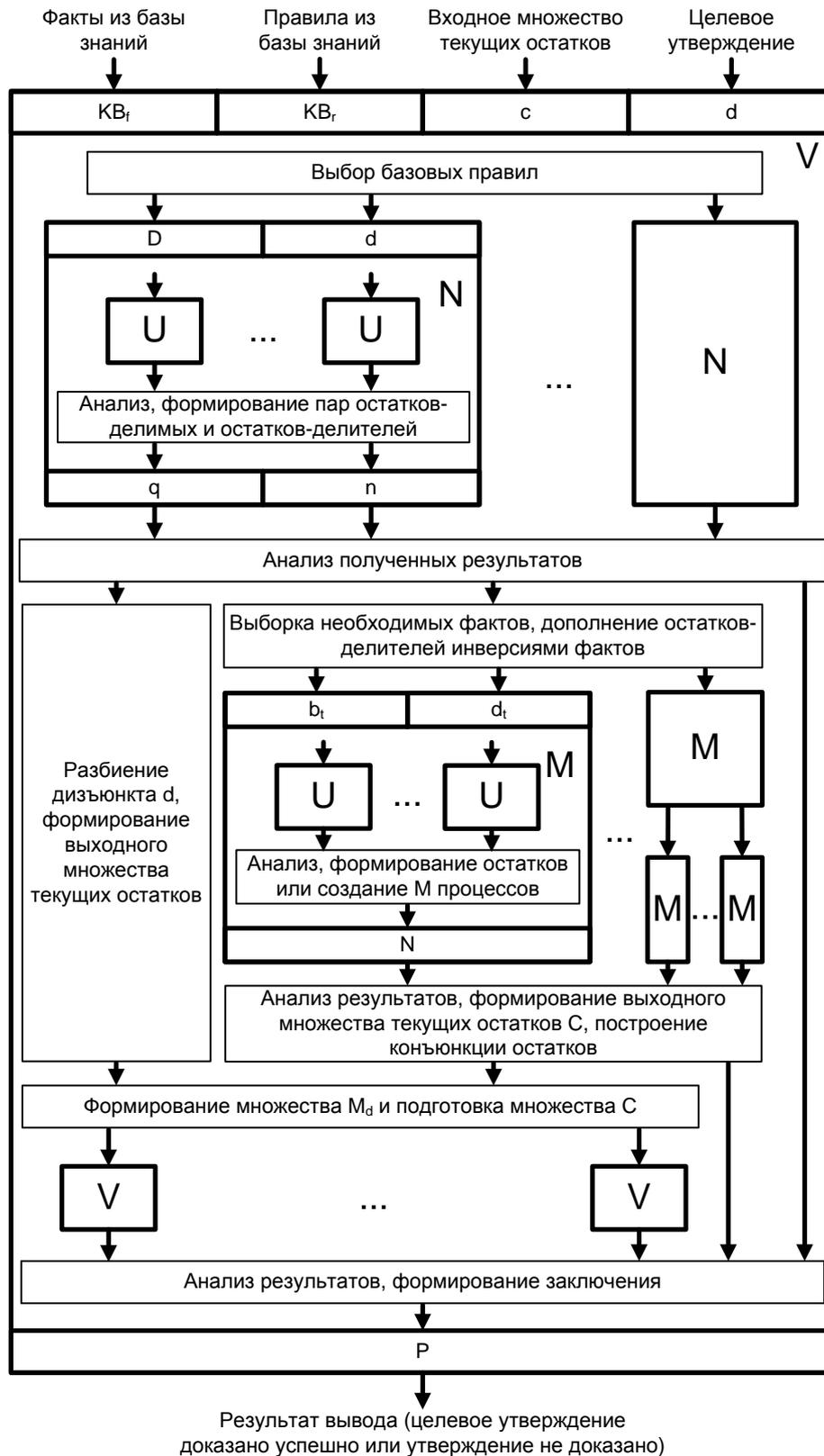


Рис. 2 – Схема потока логических вычислений

После этого исходный V -актор переходит в состояние ожидания и пребывает в нем до тех пор, пока наследники не завершат свою работу. Выводимость или невыводимость d определяется путем анализа результатов, полученных от наследников. Процесс логического вывода завершается, когда заканчивает свою работу активированный первым V -актор.

После запуска актора V всегда происходит порождение группы из N -акторов и, иногда, группы из M -акторов. Каждый M -актор способен также порождать группу M -акторов. Кроме того, и N - и M -акторы инициируют создание группы U -акторов.

Анализ схемы позволяет сделать следующие выводы.

Момент готовности актора к выполнению определяется исключительно готовностью входных данных, при этом не требуются какие-либо дополнительные синхронизирующие или управляющие сигналы. Таким образом, оптимальной моделью организации вычислений в машине логического вывода является модель с управлением потоком данных (dataflow).

Множества фактов и утверждений базы знаний статичны в процессе вывода. Таким образом, допустима их одновременная подача на входы всех V -акторов в самом начале вычислений, что позволяет значительно снизить затраты на коммуникационные расходы.

В ряде ситуаций результат работы акторов определяется в соответствии с результатами, полученными от множества порожденных ими акторов. Таким образом, возможно дополнительное сокращение временных затрат на выполнение вывода за счет выбора оптимальной для конкретного случая стратегии анализа результатов. Примерами таких стратегий являются:

- однократный анализ по завершению работы всех порожденных акторов;
- многократный анализ после завершения работы очередного порожденного актора;
- осуществление анализа после завершения работы группы порожденных акторов при условии соответствия полученных результатов некоторому эвристическому критерию.

Две последние стратегии предполагают, что в случае досрочного получения заключения о выводимости или невыводимости целевого дизъюнкта процесс выполнения все еще незавершившихся акторов-наследников может быть остановлен, а занятые ими ресурсы – освобождены.

Заключение

Предложенная схема потока логических вычислений может быть полезна при решении следующих задач.

1. Выявление оптимального уровня распараллеливания вычислений в зависимости от особенностей и конфигурации аппаратной платформы, на которой будет реализовываться архитектура.

2. Выявление точек наиболее целесообразного применения эвристик, ориентированных на сокращение числа порождаемых акторов.

3. Определение минимального набора сообщений, необходимых для организации совместной работы акторных примитивов и поддержки вертикальных связей между ними.

4. Определение минимально допустимого множества внутренних состояний акторов, необходимых для реализации стратегий досрочного анализа результатов.

Таким образом, рассмотренная схема потока вычислений является базой для разработки архитектуры абстрактной машины логического вывода, поддерживающей выполнение МВОЭ, программно-аппаратная или аппаратная реализация которой позволит значительной повысить эффективность верификации программ и алгоритмов различных классов.

Список литературы

1. Кулямин В.В. Методы верификации программного обеспечения. Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. – 117 с.
2. Мельцов В.Ю., Чистяков Г.А. Формальная верификация параллельных алгоритмов с помощью техники проверки моделей и методов логического вывода. Вят. гос. ун-т., Киров, 2013. 140 с. – Деп. в ВИНТИ РАН 10.12.2013, №358-В2013.
3. Страбыкин Д.А. Логический вывод в системах обработки знаний. – СПб.: Издательство СПбГЭТУ, 1998. – 164 с.
4. Meltsov V.Yu. High-Performance Systems of Deductive Inference. – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2014. – 216 p.

05.23.01

¹С.И. Дубинский к.т.н., ²Я.Е. Григорьева к.т.н.¹УНПЛ ААИСК ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», sergdubrodli@mail.ru²ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», iana-star@yandex.ru

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОМ НА СТАДИИ, БЛИЗКОЙ К ИСЧЕРПАНИЮ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS

Представлены результаты экспериментального исследования и расчета в ПК ANSYS железобетонных балок, усиленных углепластиком на стадии, близкой к исчерпанию несущей способности. Выполнен анализ полученных данных.

Ключевые слова: *углепластик, усиление, исчерпание несущей способности, численное моделирование.*

В настоящее время на смену традиционным методам усиления строительных конструкций, имеющих повреждения, приходят композиционные материалы на основе волокон.

Технология усиления почти совершенна, но есть моменты, требующие решения. В нашей стране на сегодняшний день недостаточно нормативной литературы по данной технологии [1]. Углепластики довольно широко известны, однако инженеры сталкиваются с целым рядом проблем при проектировании и расчетах (в том числе с использованием различных программных комплексов) такого рода усиления. Актуальной является задача экспериментальных исследований поврежденных конструкций, усиленных композиционными материалами.

В Секторе испытаний ИСА МГСУ был выполнен эксперимент. 20 образцов, железобетонных балок шириной 190 мм и высотой 120 мм (три стержня арматуры диаметром 8 мм А400 были расположены посередине), нагружались по схеме четырехточечного изгиба статической нагрузкой на установках Form test и Instron – до стадии, близкой к исчерпанию несущей способности. Далее на образцы приклеивали от одного до четырех слоев однонаправленного углеволокна по растянутой грани и поперечные бандажи симметрично относительно центра балок. Усиленные образцы доводили до разрушения (рисунок 1).

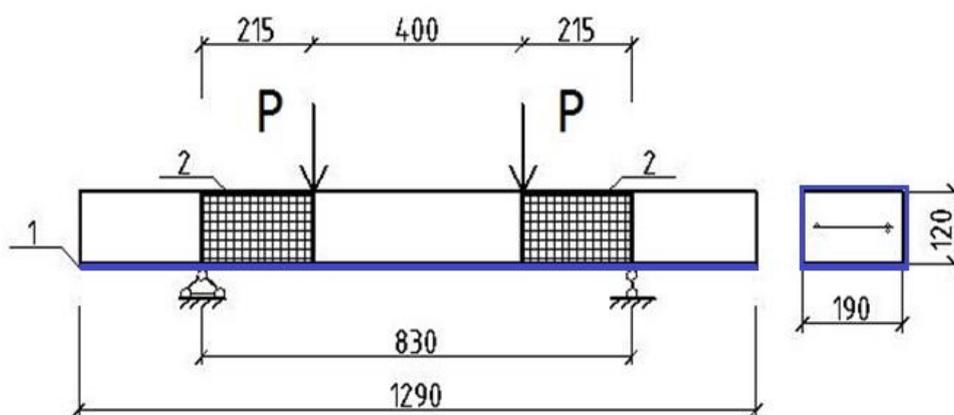


Рис. 1 Схема нагружения экспериментальных образцов, усиленных углепластиком:
1 – холст шириной 190 мм по растянутой грани; 2- поперечные бандажи шириной 250 мм

По результатам эксперимента сделан вывод, что прочность по нормальному сечению выросла в 2,3 раза (при увеличении площади в 4 раза, с 0,25 см² до 1 см²).

Было выявлено разгружающее действие углепластикового внешнего армирования. При площади углепластика 0,75 см² его значение составило 45 процентов от значения предельного изгибающего момента.

При усилении образцов на стадии, близкой к исчерпанию несущей способности, углепластиковыми элементами внешнего армирования произошло изменение рабочей схемы образцов. Для оценки несущей способности нормальных сечений экспериментальных образцов, в том числе и за границей переармирования, был произведен расчет по схеме внецентренного сжатия (с использованием приведенных характеристик материалов).

Для оценки работы усиленных конструкций был выполнен расчет по методу конечных элементов в физически и геометрически нелинейной постановке с использованием программного комплекса ANSYS 14.5 [2]. ANSYS (ANSYS, Inc) — многоцелевая программа, предназначенная для решения задач механики деформируемого твердого тела, а также связанных задач механики деформированного твердого тела [3].

Расчетная модель (анализируется половина образца с наложением соответствующих условий симметрии) представлена на рисунке 2.

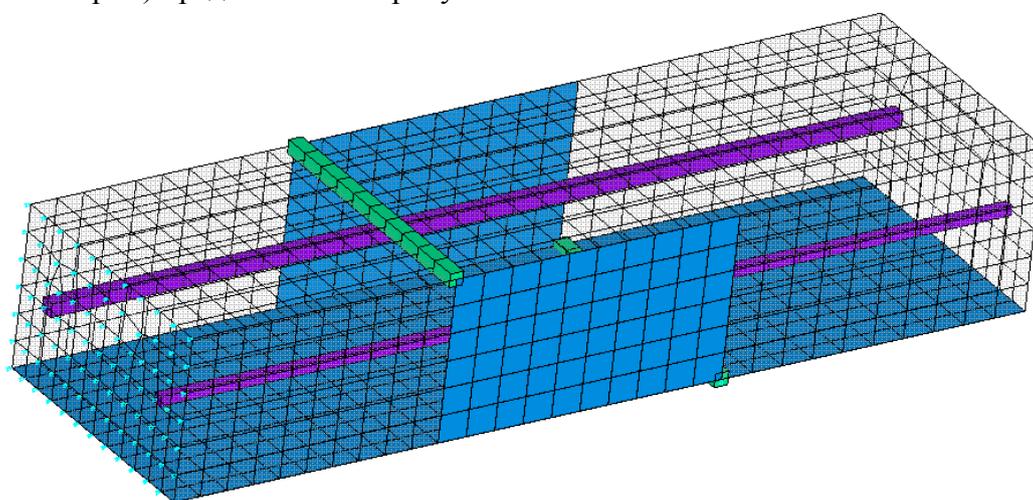


Рис. 2 Расчетная модель (в ПК ANSYS)

Билинейная диаграмма без упрочнения с предельным растягивающим усилием 30,96 МПа и модулем упругости 23,8 ГПа была использована для учета углепластика. Внешнее армирование по растянутой грани и поперечные бандажи были представлены пластинчатыми четырехузловыми элементами SHELL181 с опцией работы в плоскости (на рисунке 2 показаны синим цветом).

Результаты расчета по схеме внецентренного сжатия, экспериментальные данные и результаты численного моделирования в ANSYS представлены в таблице 1.

Численная модель (в ANSYS) подтверждает результаты физического эксперимента.

Таблица 1 – Результаты расчета экспериментальных образцов, усиленных углепластиком на стадии, близкой к исчерпанию несущей способности

Площадь углепластиковой арматуры, $A_{carbon}, \text{ см}^2$	Предельный изгибающий момент		
	$M_{ult, \text{ расчет}, \text{ ТМ}}$	$M_{ult, \text{ эксперим}, \text{ ТМ}}$	$M_{ult, \text{ ANSYS}, \text{ ТМ}}$
0,25	0,83	0,950	0,920
0,50	1,12	1,325	1,500
0,75	1,14	1,975	1,870
1,00	1,55	2,200	2,193

Полученные диаграммы позволили подтвердить характер работы образцов, усиленных на стадии, близкой к исчерпанию несущей способности. На рисунке 3 представлена характерная диаграмма при площади углепластика $0,25 \text{ см}^2$.

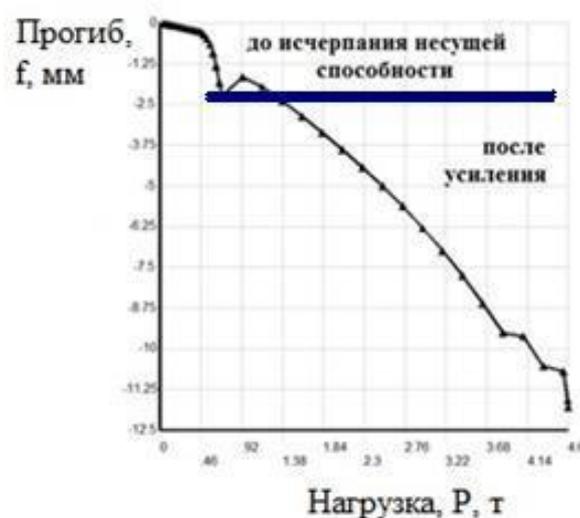


Рис. 3 Диаграмма «нагрузка-прогиб» для экспериментальных образцов с площадью углепластикового внешнего армирования $0,25 \text{ см}^2$

Расчет с использованием численного моделирования показал высокую сходимость результатов по расчету прочности с экспериментальными и подтверждает качественно характер работы усиленных углепластиком балок

Выводы:

- Программный комплекс ANSYS позволяет производить корректное объемное моделирование изгибаемых железобетонных элементов, усиленных на стадии, близкой к исчерпанию несущей способности, углепластиком, при задании диаграмм деформирования бетона, арматуры и углепластика;
- Программный комплекс ANSYS может быть использован для объемного моделирования усиленных конструкций при их проектировании и исследовании;
- При расчете с использованием программного комплекса ANSYS получены адекватные значения, которые согласуются с результатами эксперимента.

Список литературы

1. Григорьева Я.Е. Современные проблемы применения композиционных материалов для усиления бетонных конструкций в России / Григорьева Я.Е. // Журнал «Естественные и технические науки». – 2012. - №4. - С. 366 - 367.
2. ANSYS Theory 14.0. User's Guide. - Canonsburg: ANSYS Inc., 2011. – 862 p.
3. Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. - М.: ЛЕНАНД, 2010. - Изд. 2-е, испр.- 456 с.

05.23.22

И.В. Дуничкин к.т.н., О.А. Егорычев д.т.н., Д.А. Жуков

ФГБОУ ВПО «МГСУ», УНПЛ ААИСК,
кафедра «Проектирование зданий и градостроительства», ecse@bk.ru, olegoleg92@gmail.com
Архитектурное бюро «Архакарта», arhakarta@gmail.com

АНАЛИЗ ЗАСТРОЙКИ КВАРТАЛА ЛА ДЕФАНС В ПАРИЖЕ

Идея была выражена в архитектурно-планировочном решении застройки, располагающейся на единой многоуровневой платформе. Строительство идет и сейчас дополняя застройку квартала, организованную вдоль пешеходной эспланады, продолжающую историческую ось Парижа «Путь Короля».

Ключевые слова: *Современная история архитектуры, высотная застройка, устойчивая архитектура*

Французы очень долго решали, чем продолжить историческую ось Парижа – «Дорогу Короля». Предместье Парижа – Дефанс еще в середине 20-го века стал объектом споров архитекторов, градостроителей и урбанистов¹. Кажется, что квартал «Ла Дефанс» построен совсем недавно. Однако, история его создания относится к 50-м годам, когда развитие Парижа потребовало реконструкции соседних городов Курбева, Пюто и Нантерра. В 50-е года был объявлен международный конкурс для градостроителей и архитекторов (рис. 1) в котором участвовали даже наши советские архитекторы. Строительство квартала «Ла Дефанс» началось в 1955 году, то есть ровно 50 лет назад. Дефанс - деловой квартал Парижа, так называемый "парижский Нью-Йорк" будет справляться свой 60-летний юбилей уже в 2015 году.



Рис. 1- Первоначальное объемно-пространственное решение застройки La Defense. 1950 г.

Возникавшие с 1950 года различные проекты зданий, предназначенных под учреждения или под жилье, дали в результате тот ансамбль, который мы видим сегодня: башни, самые высокие из которых достигают примерно ста метров, Большая арка Дефанс (1989), Национальный центр техники и промышленности (1958), торговый центр "Четыре времени года" (1981), и др. Идея, которая обрела форму сегодня в «Ла Дефанс» многогранна в архитектурном, инженерном и градостроительном планах и является ценным философским опытом. В архитектуре «Дефанс» декларирует функциональность, свободу передвижения,

¹ Во Франции специалистов комплекса «Архитектура и строительство» подразделяют на общепринятых архитекторов, градостроителей и собственную квалификацию урбанисты. Это обосновано исторически сложившейся на современном этапе структурой управления и планирования развития городов и регионов.

чистоту линий, открытость пространства и композиций и конечно комфорт. Удобство и изобилие всего, услуг, магазинов, пространства, воздуха, вот что хочет показать «Ла Дефанс». В инженерном плане «Ла Дефанс» это 100%-я урбанизированная искусственная территория, то есть почти все здания располагаются на единой железобетонной плите и имеют, по сути, общее фундаментное основание. Под колоссальной плитой-основанием квартала проходит огромный туннель, в котором проложена обширная магистраль общегородского значения, являющаяся продолжением исторической оси Парижа («дороги Короля»), рис 2. Почти все территории квартала являются надземными, то есть единой эксплуатируемой крышей, на которой распложены озелененные парки, скверы, партеры, фонтаны. Деревья растут в ограниченных условиях с искусственным орошением, в их распоряжении только почва, которая находится в железобетонных отсеках – куртинах.



Рис. 2- Вид на западную границу платформы квартала La Defense.

В технологическом отношении инженерное решение застройки квартала это новое слово в строительстве и философии. В традиционном понимании застройке «Ла Дефанс» не нужна в дальнейшем реконструкция. Почти все здания в квартале состоят из демонтируемых, разборных конструкций, которые могут быть утилизированы полностью, а на их месте, на существующей плите-основании, в дальнейшем после демонтажа, возможно, построить новые. В градостроительном плане «Ла Дефанс» это не только форпост на границе Парижа и жемчужина на ожерелье исторической оси, но и город в городе. С учетом технологии строительства и обновления застройки этот город вечен! Квартал имеет мощные транспортные связи и самодостаточную инфраструктуру, дает развитие и рабочие места большому Парижу.

История создания квартала «Ла Дефанс» имеет несколько волн развития. В 50-60-е строились первые небоскрёбы квартала, затем в 70 гг. – была вторая волна, среди которой можно назвать штаб-квартиры таких крупнейших компаний: *EDF, GAN, FAIT...* Нужно дождаться 80-х годов – третьей волны, чтобы увидеть небоскрёбы нового поколения, более утончённой архитектуры, с выпуклостями и впадинами различной геометрической формы, [1]. Между зданиями, в которых располагаются офисы и магазины, хаотически разбросано 65 современных скульптур, как например Стабиль Кальдера, поставленная в 1986 г., красного цвета, протянувшаяся над центральной эспланадой как огромный динозавр, между лапами которого, как под аркой, обитатели квартала проходят каждый день. Со временем «Ла Дефанс» гуманизируется: появляются платаны, скверы, фонтаны и даже игроки в петанк [2].

Из внешних условий следует отметить, что квартал «Ла Дефанс» находится на возвышении, что обеспечивает более высокие скорости ветра и своеобразный микроклимат. Значительное влияние на микроклимат оказывает Большая арка Братства или арка Дефанс (*Grande Arche de la Defence*). Это - монумент-здание, представляющий собой куб с вынутой серединой, со стороной 110 метров, весом в 300 тыс. тонн, был задуман и построен датским архитектором Йоханом фон Шпрекельсенем в 1989 году. Первоначально здание было задумано абсолютно прозрачным, снаружи и внутри. Идея заключалась в том, что в большой

арке Дефанс должны были разместить чиновников административного аппарата Евросоюза, следовательно «Народ» должен иметь возможность воочию проверить, как работают «Слуги Народа». Первоначальный замысел не дожил до воплощения. В итоге стены облицевали стеклом и каррарским мрамором. Каждую мраморную плиту лично осматривал архитектор фон Шпрекельсен, и при желании безотчетно выбраковывал. Во многом это сыграло положительную роль, так как на ограждающие конструкции здания воздействует активная в аэродинамическом плане окружающая среда [3]. Сама большая арка Дефанс стоит на пике холма и в аэродинамическом отношении является узким каналом – шорами, который постоянно втягивает в себя воздушные массы, повышая скорость ветра до экстремальных значений, [4]. Скорость ветра в арке может достигать 120км/ч, то есть чуть более 33 м/с. Такой поток мгновенно сбивает человека с ног [5]. Для снижения скорости ветра в арке была разработана специальная эластичная конструкция и подвешена в центре арки в виде большого белого тента с отверстиями, рис. 3.

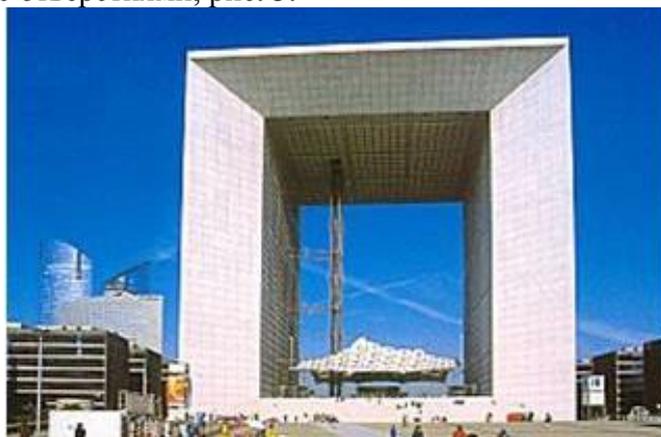


Рис. 3- Большая арка Братства - арка ла Дефанс (Grande Arche de la Defense)

Так называемое "Облако" является не только элементом уличного дизайна и композиции здания-монумента, но и необходимой пространственной решеткой-диафрагмой для создания комфортного аэрационного режима в большой арке Дефанс и на территории квартала за ней. В самой арке в человеческий рост создан стеклянный «ветрозащитный» лабиринт. На вершине арки находится смотровая площадка. Арка Дефанс находится на одной прямой с другими известнейшими арками Парижа - Триумфальной и аркой Карусель, находящейся вблизи Лувра.

В наше время здесь в квартале «Ла Дефанс» живут 30 тысяч человек и 100 тысяч человек приезжают сюда на работу каждый день. Имеется проект, предполагающий расширение Дефанса на район Вальми в соседнем Нантере, где вырастет 400-метровая "Бесконечная башня", меняющая аэродинамику всего квартала [5]. Композицию квартал «Ла Дефанс» можно увидеть из далека, важное условие аэрации застройки — ясная погода. рис. 4.



Рис. 4- Вид на квартал La Defense со стороны Парижа.[6]

Список литературы

1. Официальный сайт la Grande Arche de la Défense - 2014. [Электронный ресурс] / Toit de la Grande Arche de la Défense - Monument de Paris – Espace / Expositions/ Режим доступа: <http://www.grandearche.com> – . Дата обращения: 10.11. 2014 г.
2. Википедия — 2014. [Электронный ресурс] / Большая арка Дефанс / Режим доступа: ru.wikipedia.org/wiki/Большая_арка_Дефанс. Дата обращения: 06.11. 2014 г.
3. Поддаева О.И., Дубинский С.И., Федосова А.Н. Численное моделирование ветровой аэродинамики высотного здания. // Промышленное и гражданское строительство. 2014 № 9 С.23-27
4. Егорычев О.О., Чурин П.С., Поддаева О.И. Экспериментальное исследование силомоментных ветровых нагрузок на высотное зданий. // Промышленное и гражданское строительство. 2014 № 9 С.28-30
5. Дуничкин И.В., Жуков Д.А., Золотарев А.А. Влияние аэродинамических параметров высотной застройки на микроклимат и аэрацию городской среды. // Промышленное и гражданское строительство. 2013 № 9 С.39-41.
6. Paris-SAM. — 2014. [Электронный ресурс] / главная / современная архитектура/ Торгово-деловой район Дефанс / Режим доступа: <http://www.paris-sam.com/modern/index18.html>. Дата обращения: 12.10. 2014 г

05.23.04

Г.Н. Жмаков

Московский государственный строительный университет, Институт инженерно-экологического строительства и механизации, кафедра Водоотведения и водной экологии, Москва, gennady_zhmakov@mail.ru

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЛИВНЕВЫХ СТОКОВ АЭРОПОРТОВ РОССИИ

Особенностью загрязненности поверхностного стока аэропортов является наличие в стоке этиленгликоля (1,2-этанediол), поступающего в сток в результате антиобледенительной обработки воздушных судов. Традиционно, для удаления этиленгликоля рекомендуются – ионообменные фильтры, загруженные природным цеолитом – клиноптилолитом. Анализ технологии применения в аэропортах этиленгликоля и его химических свойств позволяет исключить стадию его удаления в схемах очистки поверхностного стока с территории аэропортов.

Ключевые слова: *поверхностный сток, очистные сооружения, предельно-допустимая концентрация, аккумулирующий резервуар, напорные скорые фильтры.*

Наибольшую опасность с экологической точки зрения в поверхностном сток аэропортов представляют углеводороды, соединения аммония, этиленгликоля, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) и др.

Особенность канализования аэропортов заключается в большой протяженности сетей с минимальными уклонами, разной интенсивностью движения воздушных судов, а также разнообразием географо-климатических характеристик местности расположения аэропортов.

В соответствии с рекомендациями [1; 2] расчет очистных сооружений поверхностного стока производится на расход дождевого стока, составляющего для аэропортов разных классов от 83 до 91% годового стока. Отличительной особенностью поверхностного стока аэропортов, наряду с общепринятыми загрязнениями, является присутствие в нем этиленгликоля и азотсодержащих веществ.

Этиленгликоль, попадающий в сток в результате антиобледенительной обработки воздушных судов, представляет собой двухатомный спирт жирного ряда с формулой $C_2H_4(OH)_2$. Концентрация этиленгликоля в стоках не превышает концентраций 20-30 мг/л [1]. ПДК этиленгликоля для водоемов рыбо-хозяйственного использования составляет 0,25 мг/л, а на сооружения биологической очистки 1000 мг/л.

Известно, что этиленгликоль окисляется при контакте с атмосферным воздухом и процесс окисления ускоряется при повышении температуры — примерно вдвое на каждые 10°C. Этиленгликоль окисляется до щавелевой кислоты минуя стадию альдегида по реакции:



Период, в течении которого этиленгликоль в растворе теряет 50% своей массы, зависит от температуры и может быть определен по эмпирической формуле [1]:

$$T = 20 - \sqrt{6(t + 1)},$$

где T - период времени, за которое осуществляется потеря в сточной воде 50% количества этиленгликоля, сут;

t - среднесуточная положительная температура наружного воздуха в зоне аэропорта, °C.

Так как, противогололедная обработка воздушных судов производится только в зимнее время, то этиленгликоль может быть обнаружен только в талом стоке. В тоже время, на аэропортах I-III классов основная масса снега с мест обработки противогололедными жидкостями вывозится с территорий аэропортов и в сеть водостоков, практически, не попадает.

Другой специфический загрязнитель поверхностного стока – азотсодержащие вещества, определяемые в табл. 5 [1] показателями: общий азот и карбамид (мочевина), – также связан с зимним периодом функционирования аэропортов. Эти загрязнения поверхностного (талого) стока образуются при обработке взлетно-посадочных полос (ВПП) противогололедными материалами (ПГМ).

Следовательно, азотсодержащие компоненты загрязнений поверхностного стока могут поступать на очистные сооружения также только с тальми стоками.

Из сказанного следует, что данные, приведенные в табл. 5 [1] не отражают фактической величины концентраций загрязнений, как по классам аэропортов, так и по абсолютным значениям приведенных загрязнений. Кроме того, учитывая, что диктующим показателем для разработки технологической схемы очистки являются нефтепродукты, извлечение которых из воды поверхностного стока, должно достигать величину менее 0,05 мг/л, территорию аэропортов I-III классов можно относить к I группе производств [2]. Состав примесей в поверхностном стоке этих аэропортов близок к поверхностному стоку с селитебных территорий современной жилой застройки (Табл.2.[2]) и не содержит специфических веществ с токсичными свойствами. Основными примесями, содержащимися в стоке с территории предприятий первой группы, являются грубодисперсные примеси, нефтепродукты, сорбированные, главным образом, на взвешенных веществах.

Учитывая условия формирования качества поверхностного стока аэропортов автору с коллективом проектно-технологического отдела ОАО «ИК «НИИ КВОВ» удалось разработать унифицированную технологию очистки поверхностных стоков. Несмотря на унификацию технологической схемы очистки поверхностного стока аэропортов, строительные решения, к сожалению, остаются индивидуальными. По данной технологии разработаны проекты и построены очистные сооружения поверхностного стока для аэропортов и аэродромов в г.г. Москва (Внуково, Шереметьево, Чкаловский), Анапа, Белгород, Воронеж, Геленджик, Грозный, Ростов на Дону (Южный), Казань и Хабаровск. Технологическая схема очистки поверхностного стока представлена на рис. 1. Очистке подвергается наиболее загрязненная часть стоков, поступающих через решетки в аккумулирующий резервуар, рассчитанный на 100 м³/га канализуемой площади. Нефтепродукты, всплывшие в аккумулирующем резервуаре, сорбируются плавающими бонами из материала «Мегасорб», размещенными по периметру отстойной зоны, которые по мере исчерпания сорбирующей способности (ориентировочно 1-2 раза в год) регенерируются с помощью передвижного механического отжимного устройства. После 4-5 циклов регенерации бона вывозятся на утилизацию.

Из аккумулирующих резервуаров погружными насосами с постоянной производительностью, рассчитанной из условия срабатывания объема резервуаров за 48 час, стоки подаются на скорые напорные фильтры с песчаной загрузкой (фильтры I ступени). Перед фильтрами в стоки вводится коагулянт, для укрупнения мелкодисперсных и коллоидных загрязнений. Осветленная вода из скорых фильтров для адсорбции на угольном сорбенте МИУ-С остаточных эмульгированных и частично растворённых нефтепродуктов, органических веществ и этиленгликоля направляется на сорбционные напорные фильтры II ступени. От сорбционных фильтров вода под напором подается на фильтры III ступени.

– ионообменные фильтры, загруженные природным цеолитом - клиноптилолитом, которые используются для снижения в сточной воде содержания азота в аммонийной форме и, главным образом, этиленгликоля.

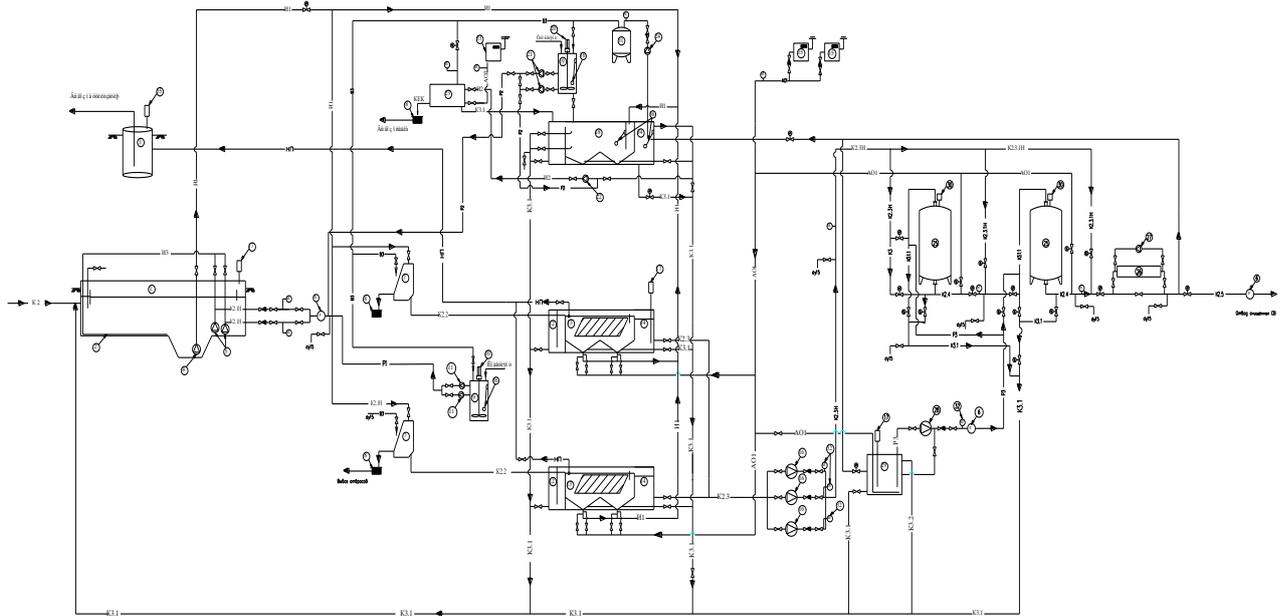


Рис. 1-Технологическая схема очистки ливневых стоков аэропортов

1 - аккумулирующая ёмкость; 2 - гидравлическая система смыва осадка; 3 – ёмкость уловленных нефтепродуктов; 4 – Насос неуплотненного осадка; 5 – насос перекачки сточных вод из аккумулирующей ёмкости на очистку; 6 – расходомер; 7- дуговое сито; 8- бункер кека; 9 - ёмкость коагулянта; 10 – мешалка; 11 – насос-дозатор; 12 – камера хлопьеобразования; 13 – тонкослойный отстойник; 14 – ёмкость осветленных вод; 15- воздуходувка; 16 – насос подачи стоков на фильтрацию; 17 – уравнимер; 18 – осадкоуплотнитель; 19 – ёмкость флокулянта; 20 – мешалка флокулянта; 21 – насос-дозатор флокулянта; 22 – винтовой насос осадка; 23 – фильтр-пресс; 24 – насос промывной воды; 25 – сорбционный фильтр; 26 – установка обеззараживания; 27 – промывочное устройство; 28 – насос щелочного раствора; 29 – ёмкость щелочного раствора; 30 – клапан сброса воздуха; 31 – мембранный гидробак; 32 – манометр; 33 – компрессор; резервуар очищенной воды; 34 – уровнемер; 35 – датчик уровней.

Для регенерации клиноптилолита, как правило, используют 2% раствор NaCl. При этом для регенерации требуется 25-30 –ти кратный объем раствора соли подогретой до температуры 40-60⁰С, перекачиваемый в замкнутой системе.

На заключительной стадии очистки стоки подвергаются обеззараживанию на установках с ультрафиолетовыми лампами. Осадки, образующиеся в процессе очистки, обезвреживаются на фильтр-прессах и вывозятся на полигон промышленных отходов для захоронения. Уловленные нефтепродукты утилизируются на специализированных предприятиях.

Анализ природы загрязнений поверхностного стока и опыт эксплуатации построенных очистных сооружений поверхностного стока с территорий аэропортов, подтвердил, что необходимости в фильтрах III ступени - нет.

Список литературы

1. Рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока дождевых и талых вод с территорий аэропортов, - М.: ГПИ и НИИ ГА Аэропроект, 1992 г.
2. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М.: ГНЦ РФ ФГУП «НИИ ВОДГЕО», Росстрой, -2006.

05.23.17

Е.Н. Журавлева

Московский государственный строительный университет,
институт строительства и архитектуры, кафедра строительной механики,
Москва, juravlevaen@mail.ru

РЕШЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛИЗИРУЮЩИХ ЯДЕР. ЗАДАЧА О ШТАМПЕ

В данной работе для решения парных интегральных уравнений используется метод ортогонализации ядер с представлением косинус-преобразования Фурье в форме данной Планшерелем. Показано применение данного метода для решения задачи о штампе, лежащем на упругой полуплоскости и упругом слое.

Ключевые слова: *Интегральные уравнения, метод ортогонализирующих ядер, штамп, упругая полуплоскость, упругий слой.*

Задача для жесткого штампа, лежащего на упругом основании и находящегося под действием симметричной нагрузки, сводится к решению парных интегральных уравнений:

$$\int_0^{\infty} P_c(\xi) C(\xi) \cos(\xi x) d\xi = w(x), 0 < x < l$$

$$\int_0^{\infty} P_c(\xi) \cos(\xi x) d\xi = 0, l < x < \infty,$$
(1)

где $C(\xi)$ – функциональная характеристика ядра. Для основных моделей ее поведение на бесконечности подчиняется следующему соотношению:

$$C(\xi) = B\xi^{-2\mu} [1 + o(1)]$$

$$0 < \mu \leq \frac{1}{2}, B - \text{const.}$$
(2)

Для решения уравнений (1) используется метод ортогонализирующих ядер [1], который основан на сведении уравнений при помощи линейных интегральных операций типа Вольтерра к интегральному уравнению Фредгольма второго рода относительно ортогонализирующего ядра. Однако, непосредственное применение этого метода к уравнениям (1) не дает возможности получить решение задачи. Поэтому предложена модификация указанного метода: косинус-преобразование представим в форме, данной Планшерелем:

$$P_c(x) = \frac{d}{dx} \int_0^{\infty} P_c(\xi) \frac{\sin(\xi x)}{\xi} d\xi$$

$$P_c(\xi) = \frac{2}{\pi} \frac{d}{d\xi} \int_0^{\infty} P_c(x) \frac{\sin(\xi x)}{x} dx$$
(3)

Используя обозначения

$$P_1^0(\xi) = \xi^{-\mu} \rho(\xi) P_1(\xi)$$

$$P(\xi) = B^{-1/2} \xi^{\mu} C^{1/2}(\xi),$$
(4)

на основании которых можно записать

$$P(\xi) P_1^0(\xi) = B^{-1} \xi^{\mu} C(\xi) P_1(\xi).$$
(5)

Выразим $P_1(\xi)$ из (5) и из первой зависимости (4), подставим полученные выражения соответственно в первое и во второе уравнение системы (1),

полагая $P_c(\xi) = P_1(\xi)\xi^{\frac{3}{2}}$, учитывая (3) и что $\sin(\xi x) = \sqrt{\frac{\pi}{2}}\sqrt{\xi x} J_{\frac{1}{2}}(\xi x)$,

в результате получим:

$$\int_0^{\infty} \xi^{1-\mu} J_{\frac{1}{2}}(\xi x) P_1^0(\xi) \rho(\xi) d\xi = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \frac{F(x)}{B}, \quad 0 < x < l$$

$$\int_0^{\infty} \xi^{1+\mu} J_{\frac{1}{2}}(\xi x) P_1^0(\xi) \rho^{-1}(\xi) d\xi = 0, \quad l < x < \infty,$$
(6)

где $F(x) = \int_0^x w(x) dx$.

Для решения парных уравнений (6) введем ортогонализирующие ядра [2]

$$K_0(x, r) = \int_0^{\infty} \xi^{1+\mu} J_{\frac{1}{2}}(\xi x) J_{\frac{1}{2}-\mu}(\xi r) d\xi,$$

$$H_0(x, r) = \int_0^{\infty} \xi^{1-\mu} J_{\frac{1}{2}}(\xi x) J_{\frac{1}{2}-\mu}(\xi r) d\xi.$$
(7)

С помощью этих ядер уравнения (6) могут быть сведены к одному уравнению, заданному на всем интервале $(0, \infty)$.

Умножим первое уравнение (6) на $xK_0(x, r)$, а второе на $xH_0(x, r)$ и проинтегрируем по X , от 0 до ∞ . После несложных преобразований получим:

$$\int_0^{\infty} \xi \rho(\xi) P_1^0(\xi) J_{\frac{1}{2}-\mu}(\xi r) d\xi = \sqrt{\frac{2}{\pi B}} \int_0^{\infty} F(x) x^{\frac{1}{2}} K_0(x, r) dx, \quad 0 < x < r < l$$

$$\int_0^{\infty} \xi \rho^{-1}(\xi) P_1^0(\xi) J_{\frac{1}{2}-\mu}(\xi r) d\xi = 0, \quad r < x < \infty.$$

Обозначим

$$\int_0^{\infty} \xi \rho^{-1}(\xi) P_1^0(\xi) J_{\frac{1}{2}-\mu}(\xi r) d\xi = \sigma(r), \quad 0 < r < l.$$
(9)

На основании обратного преобразования Ханкеля из (9) имеем

$$P_1^0(\xi) = \rho(\xi) \int_0^l r_1 \sigma(r_1) J_{\frac{1}{2}-\mu}(\xi r_1) dr_1$$
(10)

Подставив это выражение в первое уравнение системы (8), в результате получим интегральное уравнение Фредгольма второго рода:

$$\sigma(r) + \int_0^l \sigma(r_1) r_1 K(r, r_1) dr_1 = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{B} \int_0^{\infty} F(x) x^{\frac{1}{2}} K_0(x, r) dx.$$
(11)

Здесь $K(r, r_1)$ – ядро интегрального уравнения, определяемое выражением

$$K(r, r_1) = \int_0^{\infty} \xi [\xi^{2\mu} B^{-1} C(\xi) - 1] J_{\frac{1}{2}-\mu}(\xi r) J_{\frac{1}{2}-\mu}(\xi r_1) d\xi.$$
(12)

Вычислим правую часть уравнения (11):

$$\int_0^{\infty} F(x) x^{\frac{1}{2}} K_0(x, r) dx = \frac{2^{\mu}}{\Gamma(1-\mu) r^{\frac{1}{2}-\mu} r^{2\mu}} \left[F(0) + r^{2\mu} \int_0^{\infty} \frac{F'(x) dx}{(r^2 - x^2)^{\mu}} \right].$$
(13)

Тогда окончательно уравнение Фредгольма второго рода при $\mu=1/2$ примет вид:

$$\sigma(r) + \int_0^l \sigma(r_1)r_1K(r,r_1)dr_1 = \frac{2}{\pi B} \cdot \frac{1}{r} \left[F(0) + r \int_0^r \frac{F'(x)dx}{\sqrt{r^2-x^2}} \right], \quad (14)$$

где

$$K(r,r_1) = \int_0^\infty \xi[\xi B^{-1}C(\xi) - 1] J_0(\xi r) J_0(\xi r_1) d\xi. \quad (15)$$

Определив из уравнения (14) $\sigma(r)$, можно найти контактные напряжения $P(x)$:

$$P(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{d}{dx} \left\{ \frac{2^\mu \cdot x}{\Gamma(1-\mu)} \left[\frac{\sigma(l) l^{\mu-1/2}}{(l^2-x^2)^\mu} - \int_x^l \frac{[r^{\mu-1/2}\sigma(r)]' dr}{(r^2-x^2)^\mu} \right] \right\}. \quad (16)$$

Для $\mu=1/2$

$$P(x) = \frac{l\sigma'(l) + \sigma(l)}{\sqrt{l^2-x^2}} - \int_x^l \frac{[r\sigma'(r)]' dr}{\sqrt{r^2-x^2}}. \quad (17)$$

Рассмотрим некоторые частные задачи о штампе, лежащем на упругом основании.

1. Штмп, лежащий на упругой полуплоскости

Пусть штамп вдавливается в упругую полуплоскость под действием симметричной нагрузки. В этом случае $w(x) = W_0$, где W_0 – неизвестное осевое смещение штампа. Для упругой полуплоскости получим

$$F(x) = W_0x, \quad K(r,r_1) = 0, \quad \sigma(r) = \frac{W_0}{B}, \quad (18)$$

поэтому

$$P(x_0) = \frac{W_0}{Bl} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-x_0^2}}. \quad (19)$$

Если штамп загружен, например, сосредоточенной силой в центре, то приравняв равнодействующие внешней нагрузки P и реактивных давлений, найдем неизвестное осевое смещение штампа W_0 . В результате получим известную формулу для напряжений под жестким штампом

$$P(x) = \frac{P}{\pi l} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \quad (20)$$

2. Штмп, лежащий на упругом слое

Если между слоем и подстилающим жестким основанием нет сцепления, то

$$\rho^2(\xi) = \rho^2(\xi h) = 1 - \frac{\xi h + e^{-\xi h} sh(\xi h)}{\xi h + sh(\xi h)ch(\xi h)}. \quad (21)$$

Запишем интегральное уравнение Фредгольма второго рода в безразмерных координатах, полагая $\bar{r} = \frac{r}{l}$; $\bar{r}_1 = \frac{r_1}{l}$; $z = \xi h$:

$$\sigma(\bar{r}) + \int_0^1 \bar{\sigma}(\bar{r}_1)K(\bar{r},\bar{r}_1)\bar{r}_1d\bar{r}_1 = 1, \quad (22)$$

где

$$K(\bar{r},\bar{r}_1) = -S^2 \int_0^\infty z \frac{z + e^{-z} shz}{z + shz \cdot chz} J_0(zS\bar{r}) \cdot J_0(zS\bar{r}_1) dz \quad (23)$$

$$\bar{\sigma}(\bar{r}) = \frac{\sigma(\bar{r}) \cdot B}{W_0}, \quad \bar{\sigma}(\bar{r}_1) = \frac{\sigma(\bar{r}_1) \cdot B}{W_0}.$$

$S = \frac{l}{h}$ – отношение полудлины балки к мощности слоя.

Для получения численных результатов необходимо получить решение основного интегрального уравнения (22). Заменим интеграл уравнения (22) конечной суммой по формуле Симпсона, в результате получим приближенное равенство

$$\sigma(r) + \sum_{K=1}^n A_K K(r, r'_K) r'_K \sigma(r'_K) = 1, \tag{24}$$

где r'_K и A_K – соответственно узлы и весовые коэффициенты обобщенной формулы Симпсона, численные значения которых зависят от числа n .

На основании составленного алгоритма расчета была решена задача о штампе, лежащем на упругом слое, под действием силы P , приложенной в центре. Результаты расчета приведены на рисунках 1 и 2. Значения реактивных давлений отличаются от известных решений менее чем на 2%.

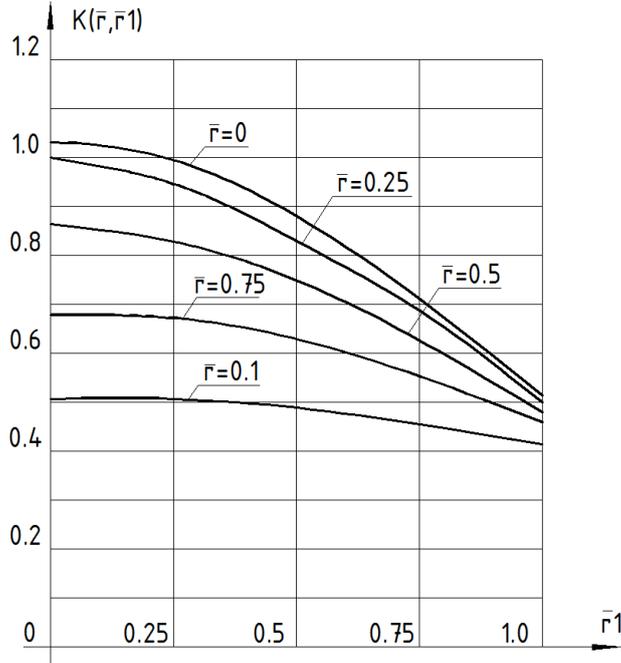


Рис. 1. График изменения ядра $K(\bar{r}, r_1)$ по формуле (23)

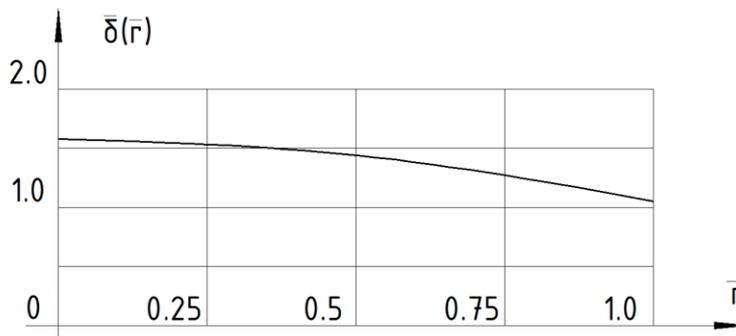


Рис. 2. Решение интегрального уравнения (22) при $h = l$

Список литературы

1. Цейтлин А.И. О методе парных интегральных уравнений и парных рядов и его приложениях к задачам механики. – Прикладная математика и механика, 1986, т.30, вып.2.
2. Цейтлин А.И. Об одном классе парных интегральных уравнений – дифференциальные уравнения, 1986, т.11, вып.8.

05.22.10

Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, В.А. Ракитин

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
г. Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

МЕТОДИКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЕЙ

В статье рассматривается проблема выбора автомобилей в зависимости от назначения. Проанализированы подходы к решению этой задачи. Предложена методика выбора автомобилей с учетом сравнительной оценки потребительских свойств на основе экспертных оценок.

Ключевые слова: *выбора автомобилей, потребительские свойства, экспертные оценки.*

В настоящее время наблюдается бурный рост парка автомобилей в России. Кроме количественного роста расширяется и модельные ряды автомобилей, создаются новые классы автомобилей. В этой связи многие потребители сталкиваются с проблемой выбора автомобилей. При этом однозначное решение найти сложно. Это связано с рядом причин.

Во-первых, само понятие качества автомобилей трактуется не всегда верно. Для правильного подхода к оценке автомобилей необходимо пользоваться соответствующими нормативными документами [1, 2]. Качество – это совокупность свойств. Автомобиль имеет ряд свойств. С учетом этого необходимо использовать схему оценки, представленную в [7].

Во-вторых, существуют разные, не всегда учитывающие назначение автомобиля, методики. При выборе автомобиля можно сравнивать их по данным производителей. Но при этом приходится сопоставлять разнородные свойства. Интегральную оценку получить невозможно. Поэтому используются методики экспертной оценки качества автомобилей [3]. Но эти методики имеют ряд недостатков: неполный перечень свойств; не учитывается весомость отдельных свойств; перечень свойств не меняется в зависимости от назначения автомобиля; часто оценки носят необъективный, «заказной» характер, предназначены для рекламы определенного автомобиля.

Выбор автомобиля по критерию минимума затрат на единицу выполненной работы приемлем для грузовых автомобилей, но при расчетах возникает ряд проблем: неравномерность во времени интенсивности использования и потребления ресурсов [4, 6], влияние ряда факторов на надежность и простои в ремонте [5].

В этой связи целью исследований является обеспечение возможности сравнительной оценки качества автомобилей и их выбора в соответствии с назначением.

Для достижения этой цели решаются задачи:

выявить наиболее существенные свойства автомобилей при использовании для определенной цели;

разработать методику оценки потребительских свойств автомобилей на основе экспертных оценок;

оценить потребительские свойства «семейных» легковых автомобилей.

На первом этапе исследований разработана методика экспертной оценки качества автомобилей, включающая следующие этапы: определение перечня потребительских свойств; ранжирование потребительских свойств; оценка весов свойств; отбор автомобилей в соответствии с назначением и принятыми ограничениями; ранжирование автомобилей по каждому из свойств; расчет комплексного показателя рейтинга.

Далее определен исходный перечень свойств автомобиля: комфорт водителя; комфорт пассажиров; микроклимат; вместимость; разгонная динамика; тормозная динамика;

устойчивость; управляемость; маневренность; долговечность; безотказность; ремонтпригодность (в том числе затраты на техническое обслуживание и ремонт); топливная экономичность; престиж марки и модели.

Затем предложен комплексный показатель рейтинга автомобилей:

$$КПР = \sum_{i=1}^N \frac{CP_i}{\omega_i},$$

где N – количество свойств; i – номер свойства; CP_i – средняя сумма рангов автомобиля по i -му свойству; ω_i – вес i -го свойства.

Для расчета этого показателя для автомобилей выбранного класса сначала составлена анкета для экспертной оценки свойств автомобилей.

Затем выбраны автомобили стоимостью до 500 000 руб., официально продаваемые в России. Таких автомобилей оказалось достаточно много – 280 моделей и модификаций. Из них выбраны 33 в наибольшей степени соответствующие понятию «семейный автомобиль». Далее эти автомобили предварительно проранжированы. Выбраны лучшие 11, эти автомобили проранжированы по каждому свойству. В табл. 1 представлены результаты ранжирования. Далее проверена связь между суммарным рейтингом и комплексным показателем рейтинга (рис. 1).

Таблица 1

Результаты ранжирования

Наименование автомобилей	Суммарный рейтинг	КПР
Chevrolet Lacetti, седан 4 дв.	67	4,83
Daewoo Nexia, седан 4 дв.	135	10,12
Hyundai Solaris, седан 4 дв.	75	4,92
Kia Rio, седан 4 дв.	77	5,15
Nissan Almera Classic, седан	49	3,47
Peugeot 301, седан 4 дв.	63	4,52
Renault Duster, универсал	82	5,82
Volkswagen Polo, седан 4 дв.	61	4,39
VAZ Granta, седан 4 дв.	121	9,35
VAZ Largus, универсал 5 дв.	79	5,44
VAZ Priora, седан 4 дв.	115	8,65

Таким образом, на основе проведенного анализа выявлены наиболее существенные свойства «семейных» автомобилей; разработана методика оценки потребительских свойств автомобилей на основе экспертных оценок; оценены потребительские свойства «семейных» легковых автомобилей; установлено, что при оценке по суммарному рейтингу и по комплексному показателю рейтинга для рассматриваемых автомобилей есть существенные различия.

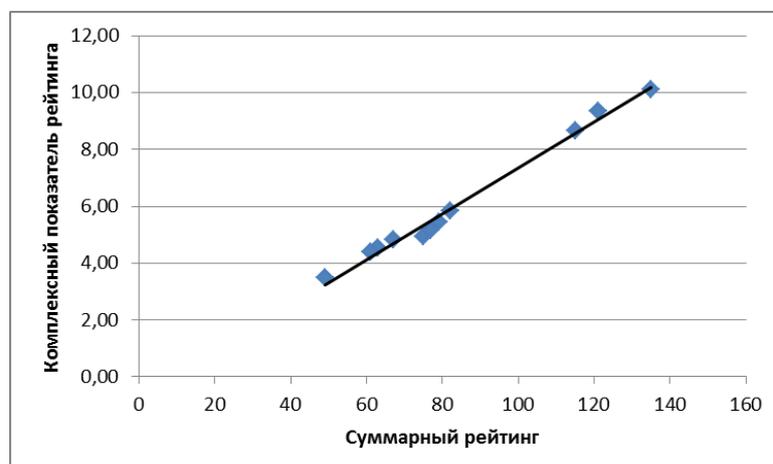


Рис. 1. Связь между суммарным рейтингом и комплексным показателем рейтинга

Полученные результаты можно использовать не только при выборе «семейных» легковых автомобилей. Общий подход применим и для других видов автомобилей, в том числе и грузовых.

Список литературы

1. ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2011.
2. ИСО 8402. Управление качеством и обеспечение качества. – М.: Изд-во стандартов, 1994.
3. Воскресенский, С. Skoda Fabia, Peugeot 208, Chevrolet Aveo, Seat Ibiza - городские хэтчбеки: желание удивлять [электронный ресурс] // За рулем / http://www.zr.ru/content/articles/532890skoda_fabia_peugeot_208_shevrolet_aveo_seat_ibiza_gorodskije_khetchbeki_zhelanije_udivlat.
4. 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.
5. 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. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2012. – № 12-2. – С. 186–191.
6. 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.
7. Техническая эксплуатация автомобилей / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

05.02.07

А.А. Кабанов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, arezont@gmail.com

ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ИЗДЕЛИЙ ЛА С УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЯ НАСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ДИСКРЕТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В ХОДЕ ИХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ

Областью исследования работы являются: конструкторско-технологическое проектирование ЛА, технологическая подготовка производства, проектирование производственных систем предприятий аэрокосмической отрасли. В работе предложено комплексно рассматривать процесс материализации изделия и относить к изделию в том числе информацию о процессах его изготовления и о производственной системе изготовления изделия. Процессы организационно-технического проектирования изделия, процессов его изготовления, его производственной системы рассматриваются как эволюционирующие процессы на основе механизма наследования. Результатом работы является предложенная объектная модель изделия, имеющая статическое представление для отражения и «образмеривания» элементов ее структуры, и, динамическое представление – для исследования ее поведения во времени с учетом возмущающих воздействий окружающей среды.

Ключевые слова: объектная модель, объектно-ориентированный анализ и декомпозиция, алгоритмическая декомпозиция, имитационное моделирование, явление наследования, изделия ЛА, производственные системы, эффективность.

К рассматриваемой области исследования относятся конструкторско-технологическое проектирование ЛА, технологическая подготовка производства, проектирование производственных систем предприятий аэрокосмической отрасли.

Предметом исследования являются проблемы организационно-технического проектирования или модернизации производственных систем.

Изделия – составные части ЛА (летательных аппаратов) и ЛА в целом относятся к сложным системам. Процесс их создания сопровождается порождением информации, которая в стандартах ИСО 9000 названа особой категорией продукции – программными средствами, объем которых постоянно растет; кроме того, эта продукция имеет ряд устойчивых промежуточных форм [1], предназначенных для фиксации функционально однородных сведений об изделиях:

(изделие и его части /форма «спецификации») ⇒ (изделие и его части) & (процессы изготовления/форма «технологические процессы») ⇒ (изделие и его части) & (процессы изготовления) & (привлекаемые ресурсы) /форма «Manufacturing Concept» [2], или модель материального потока изделия.

В ходе разработки таких форм, как правило, имеют дело с комплексом объектов (изделие, процессы, ресурсы). Очевидно, наиболее полной по содержанию является заключительная из форм. Однако она носит статический характер, поскольку в ней отсутствует компонента времени, необходимая для понимания потока во времени. Для исследования движения материального потока используют имитационные модели и программные комплексы для их исследования. Постановка имитационных экспериментов позволяет изучать различные сценарии развития жизненных циклов изделий, например, реакции производственной системы на изменчивость объема выпуска изделий и состояние самой системы.

Разрабатываемая объектная модель анализа изделия служит основой имитационной модели; между сущностями этих моделей должны быть установлены связи, каждая из которых должна получить меру посредством установления отношений между сущностями. Для этого необходимо и достаточно задать условия осуществления производственного процесса.

Каждая из форм в определенной степени преемственна (согласована) с предыдущей. Для оценки меры такой преемственности используют гипотезу о наследовании свойств родителя его потомком, например [3].

На пространстве своего жизненного цикла в ходе своего развития изделие имеет две эквивалентные формы своего существования: информационную и материальную; между этими формами должны быть установлено взаимно однозначное соответствие. Формы непрерывно изменяются и уточняются. Гипотеза о наследовании подразумевает эволюционное отображение запросов и ожиданий потребителей в форме конкретного сочетания функциональных свойств изделия, находящегося в конкретной точке пространства своего жизненного цикла. Текущее состояние изделия рассматривается как объективное единство его физического и/или информационного представлений.

Задача определения связей и отношений между моделями изделия и материального потока его производства, а также необходимость учета конкретного сочетания процессов жизненного цикла изделия, предопределяют необходимость разработки объектной модели анализа изделия. Модель должна опираться на гипотезу о существовании явления наследования и обеспечивать возможность получения правдоподобных оценок эффективности реально существующей, вновь разрабатываемой или модернизируемой производственной системы.

В ходе построения объектной модели были использованы методы: анализа и проектирования изделий, основанные на объектно-ориентированной декомпозиции задачи; структурного проектирования, основу которого составляет алгоритмическая декомпозиция общей задачи проектирования. Для представления связей и отношений между объектами использовалась теория графов. Структуры работ описывали с использованием процессного подхода. Сетевые модели комплексов материальных потоков выполнялся по методу «критического пути». Валидацию принятых проектных решений выполняли посредством метода имитационного (дискретно – событийного) моделирования материальных потоков.

Объектно-ориентированный анализ области исследования. Подвергнем область исследования процедуре объектно-ориентированного анализа с целью выявления объектов и их классов. Для этого воспользуемся концепцией PPR – аббревиатура по первым буквам категорий (Product -Продукт, Process - Процесс, Resource - Ресурс) [4].

Перечисленные категории будем рассматривать как суперклассы, объекты (экземпляры) которых сами являются классами. Рассмотрим их дальнейшую объектно-ориентированную декомпозицию применительно к отечественному дискретному машиностроению [5], рис. 1.

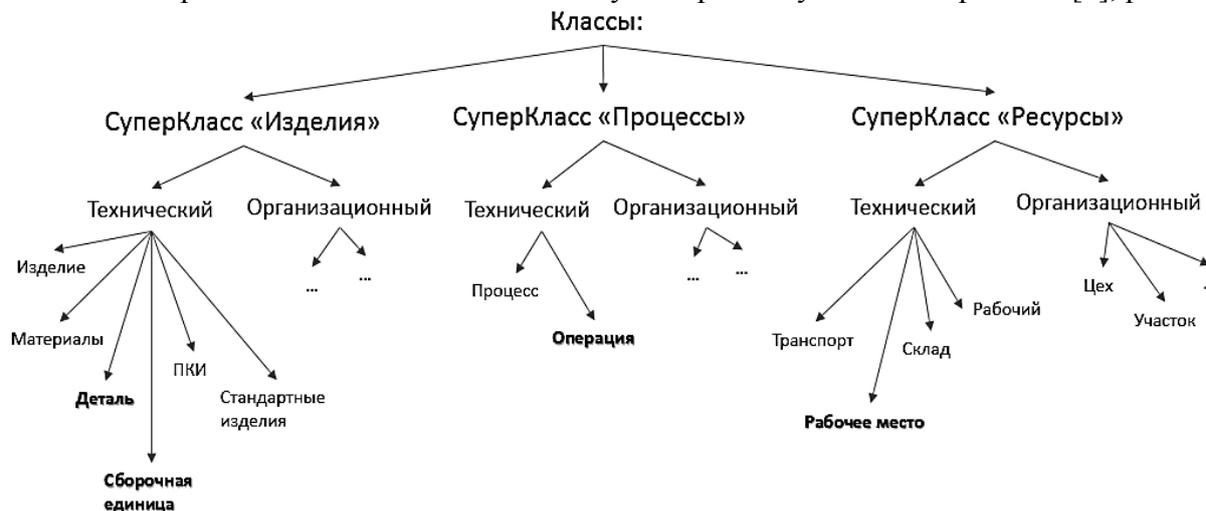


Рис. 1 – Структура классов/суперклассов

Корневой класс на схеме рис.1 остался безымянным. Основная причина такого положения опирается на виртуальный характер анализируемого объекта – финишного изделия, т.е. того изделия, которое рассматривается как предмет поставки потребителю/заказчику. «Класс изделия технические» разделен на вполне привычные инженерам подклассы: сборочные единицы, детали и т.п. Нас интересует прежде всего ее виртуальный характер.

Разработку изделия выполняют в режиме параллельного инжиниринга для достижения компромисса учитываемых аспектов представления изделия. Результат компромисса – базовая конфигурация изделия и его жизненного цикла, которая позволяет обеспечить заданные уровни обеих показателей результативности деятельности предприятия. Базовая конфигурация изменяется на плановой основе с целью, во-первых, совершенствования самого изделия, и, во-вторых, в интересах удовлетворения индивидуальных запросов конкретного потребителя. В последнем случае следует говорить о контрактной конфигурации изделия.

Режим наследования запросов и ожиданий потребителей изделием регламентируется нормативными и техническими документами. Конструкторские документы определяют необходимый набор характеристик изделия и наборы требования к каждой из них, технологические – режим материализации каждой из характеристик. Производственные документы устанавливают режим движения предметов труда внутри предприятия с сопутствующими производственными издержками. Назначение эксплуатационных документов – регламентация основных характеристик системы технического обслуживания изделия.

В дальнейшем нас будут интересовать вопросы оценки согласованности конструкторско-технологических решений изделия и возможностями процесса его производства. Рассматриваемые решения принимаются в ходе параллельного инжиниринга конструкции и технологии изготовления изделия. Процесс производства изделия рассматривается как совокупность производственных потоков. Поток – это специализированная линейная последовательность операций, необходимая и достаточная для производства определенного конечного изделия, т.е. такого изделия, на которое выпущен самостоятельный основной конструкторский документ. Уровень специализации потока определяет скорость его движения, и, как следствие, уровень производственных издержек. Любой производственный поток включает в себя два класса операций: технологические, обеспечивающие эволюционную трансформацию предмета труда, и производственные, цель которых – создание условий, необходимых для успешной реализации технологических операций. В сети реализуется режим последовательно – параллельного движения потоков; временная координация мест пересечения потоков реализуется посредством технологической схемы сборки изделия.

Выделим признаки, характерные для каждого из суперклассов, и те модели, которые описывают их поведение.

Так, для суперкласса «изделия» характерны свойства: масса; форма; габаритные размеры; собственная система координат; координаты, определяющие положение объекта в составе изделия. Для описания класса используют основные конструкторские документы: спецификации для сборочных единиц и чертежи деталей.

Для суперкласса «процессы» основным свойством его объектов являются скорость движения и длительность перемещения из начальной в конечную точку. Для представления структуры процессов используются сетевые модели; для описания поведения структуры – механизм изменчивости процессов.

Иерархия объектов «ресурсы» также хорошо описывается сетевыми моделями. Для описания их поведения использована модель виртуального конвейера.

Рабочие места, через которые движутся материальные потоки в ходе трансформации предметов труда, и в которых концентрируются все анализируемые объекты, описывали с использованием кибернетических моделей конечных автоматов. Ключевые параметры таких моделей - локация (координаты расположения в составе производственного подразделения)

и стоимость владения теми наборами ресурсом, которые необходимы для реализации каждого из состояний автомата.

Каждый из суперклассов имеет в своем составе два подкласса: технический и организационный. Технический подкласс обусловлен спецификой абстракций предметной области:

- Дочерние подклассы технического подкласса суперкласса «Изделия» описывают объекты – элементы структуры изделия [6]. Для представления структуры изделия использовали Граф Сборочного Состава Изделия (ГССИ). Основное назначение организационного подкласса здесь отводится организации всякого рода списков, составляемых по какому-либо признаку. Например, это может быть список, содержащий все элементы изделия, изготавливаемые из одного материала;

- Дочерние технические подклассы суперкласса «Процессы» образуются двумя абстракциями. Первая из них, «процесс», означает установленную последовательность работ, в качестве которых могут выступать технологический процесс, производственный процесс или иной связанный комплекс работ. Второй, «операция», - это условно неделимый, по крайней мере на текущем уровне рассмотрения, объем выполняемых работ. Организационный подкласс здесь имеет такую же смысловую нагрузку, как и в предыдущем случае;

- Технические подклассы суперкласса «Ресурсы» содержат такие абстракции как «рабочее место», «склад», «транспорт», «рабочий». Их используют в ходе описании материальных потоков производства изделия. Организационный подкласс, предназначен для описания структурных подразделений производственной системы.

Ключевыми подклассами (на рис.1 выделены жирным шрифтом) являются подклассы: «деталь», «сборочная единица», «операция», «рабочее место». В свою очередь подклассы дробятся на дочерние подклассы следующего уровня. В целях формирования целостной картины, ограничимся приведенным уровнем детализации.

Существует три типа отношений между классами [1]:

- «обобщение/специализация» (generalization/specialization) или «is a» - «является». Например, подкласс «деталь» содержит экземпляры - детали конкретного наименования. Таким образом определяют структурные составы суперклассов;

- «целое/часть» (whole/part) или «part of» - «часть чего-либо». Яркий пример здесь – это отношения между классами «сборочная единица» и «деталь». В основном это связи внутри суперклассов;

- ассоциация, т.е. семантическая зависимость между классами, которые не связаны друг с другом первым и/или вторым типами соотношений. В нашем случае это связи между объектами суперклассов «изделия», «процессы», «ресурсы».

Алгоритмическая декомпозиция области исследования. Используя введенные абстракции, подвергнем область исследования алгоритмической декомпозиции. Роль объекта проектирования отведем собственно изделию и технологическим процессам его изготовления, и, как следствие, материальным производственным потокам. Рассматривается форма организационно-технического проектирования, в ходе которого устанавливаются состав объектов «изделие», «процессы», «ресурсы», а также качество их комбинаций с целью одновременного достижений заданных уровней показателей результативности деятельности предприятия: результативности и эффективности.

Применительно к рассматриваемой предметной области суть алгоритмической декомпозиции можно представить схемой, изображенной на рис. 2.



Рис. 2 – Алгоритмическая декомпозиция классов и объектов предметной области

Процедурная декомпозиция области исследования. Теперь мы подошли к третьему аспекту структуризации, а именно процедурной декомпозиции, обусловленной явлением наследования. Согласно гипотезе о наследовании запросов и ожиданий потребителей в текущем состоянии изделия материализация информации в нем проходит ряд этапов с наследованием информации, зафиксированной на предыдущих стадиях. Например, объекты класса «изделия» эволюционируют в объекты класса «процессы», те, в свою очередь, в объекты класса «ресурсы», а затем и в объекты класса «ресурсы». Поясним это на рис. 3.

Здесь приведен абстрактный пример для сборочной единицы (СЕ), состоящей из деталей Д1 и Д2 и покупного изделия П1. Декомпозиция заключается в последовательной реализации следующих процедур.

Процедура 1. Используя ГССИ, строится сетевой график процессов производства изделия: С – сборочный процесс, И1, И2 – изготовление деталей Д1, Д2; П1 – процедура закупки покупного изделия П1.

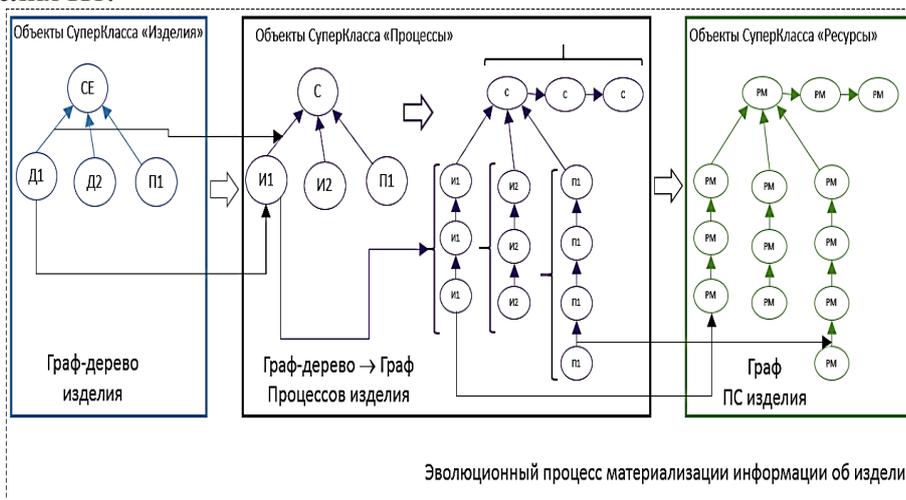


Рис. 3 – Процедурная декомпозиция классов и объектов предметной области

Полученный сетевой график унаследовал структуру предшествующего графа. Между объектами смежных классов «изделия» и «процессы» установлены четкие соответствия: объекту «деталь» соответствует объект «процесс изготовления детали»; «сборочная единица» – «сборочный процесс»; «покупное изделие» – «процесс закупки». Кроме того, трансформировались и связи внутри классов: связи входимости, характерные для класса «изделия», трансформированы в связи предшествования/следования. Выход процедуры 1 – ассоциативные отношения между объектами классов: «изделия» и «процессы».

Процедура 2. Получение достоверных данных о временных и других характеристиках процессов производства с целью «образмеривания» сетевого графика. Основаниями такой декомпозиции служат технологические процессы изготовления элементов изделия и технологическая схема сборки изделия. Структура сетевого графика при этом в полной мере наследуется (сохраняется), а его вершины трансформируются в линейные последовательности операций, между которыми установлены связи предшествования/следования.

Кроме того, межклассовые связи также сохранились и эволюционировали! Для их описания воспользуемся процессным подходом. Так, для первой операции изготовления детали, например Д1, входом служит объект класса «заготовка» - экземпляр З1; выходом для заключительной – непосредственно сама деталь Д1 класса «деталь». Промежуточные входы и выходы – полуфабрикаты, которые определяются путем дополнения обозначения заготовки номером соответствующей операции процесса изготовления/производства изделия. Тем самым каждый из полуфабрикатов рассматривается как уникальный образец изделия. Сказанное поясняется рис. 4.

Здесь декомпозиция материального потока производства происходит последовательно до уровня комплексов операций, а в конечном счете до уровня операций. Тем самым удается установить соответствие между объектом «рабочее место» и другими классами, а затем и другими экземплярами суперкласса «ресурсы».

Из рис. 3 видно, что вновь полученный сетевой график унаследовал структуру предыдущего. Он служит основой для разработки/модернизации производственной системы предприятия. Каждому вновь полученному объекту «рабочее место» соответствует объект «операция», которая, унаследовав соответствующую информацию, сохранила «память» об использовании об объектах класса «изделия».

Таким образом, в конечном итоге, мы получили сложную объектную модель, в которой все три введенных ранее в рассмотрение три суперкласса увязаны между собой. Модель характеризует производственную систему в статическом представлении.

Представления объектной модели: статическое и динамическое.

Для понимания динамики реализации изделия во времени (производства изделия) необходимо к полученной статической объектной модели изделия добавить компоненту времени и разработать имитационную модель для которой характерны специфические классы [7].

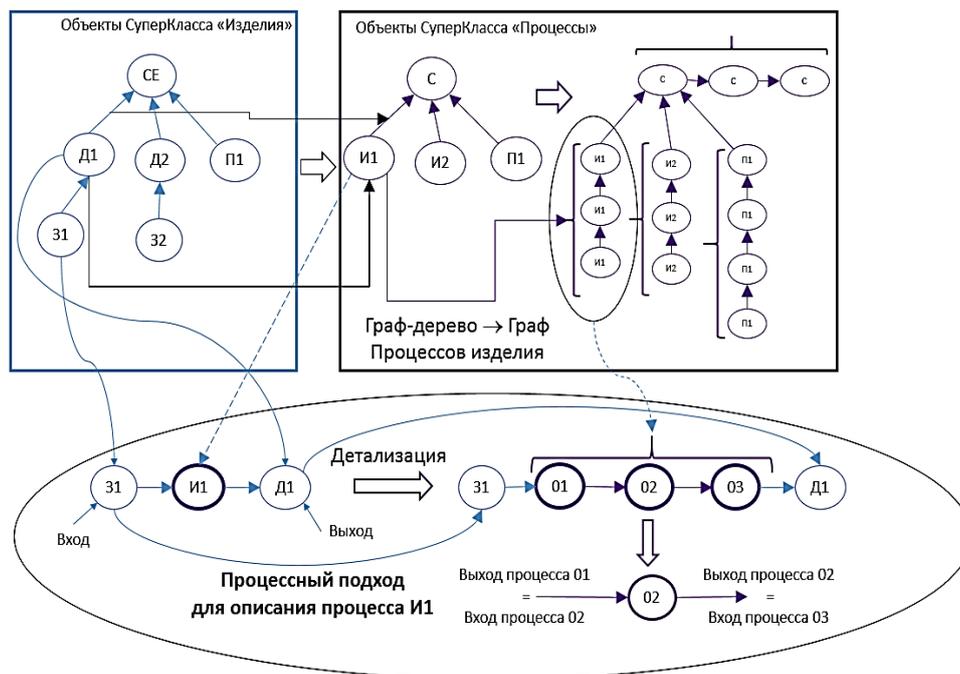


Рис. 4 – Процедурная декомпозиция классов и объектов предметной области. Этап перехода от изделия к процессам его изготовления.

Анализ систем имитационного моделирования (точнее дискретно-событийного моделирования, средствами которого хорошо описываются производственные системы) DELMIA QUEST (Dassault Systemes, Франция), Tecnomatix Plant Simulation (SIEMENS, Германия), AnyLogic (Компания AnyLogic, Россия) показал, что во всех из них использованы классы, предложенные в работе [7].

Сущности разработанной объектной модели однозначно сводятся к сущностям представленных классов. Для использования конкретной системы имитационного моделирования, должна быть сформирована таблица соответствия сущностей, использующая классы, конкретного программного продукта. На рис. 5 приведено соответствие основных классов для системы имитационного моделирования QUEST, используемой для динамического представления информации о ходе реализации изделия.

Объектная модель, представленная на рис. 5, может служить примером наиболее полной модели изделия, предусматривающая ее исследование как в статическом, так и динамическом представлениях. Хотя, для экономии места и ясности, на рис. 5 отображены далеко не все классы, и более того не показаны перекрестные связи между классами разных категорий.

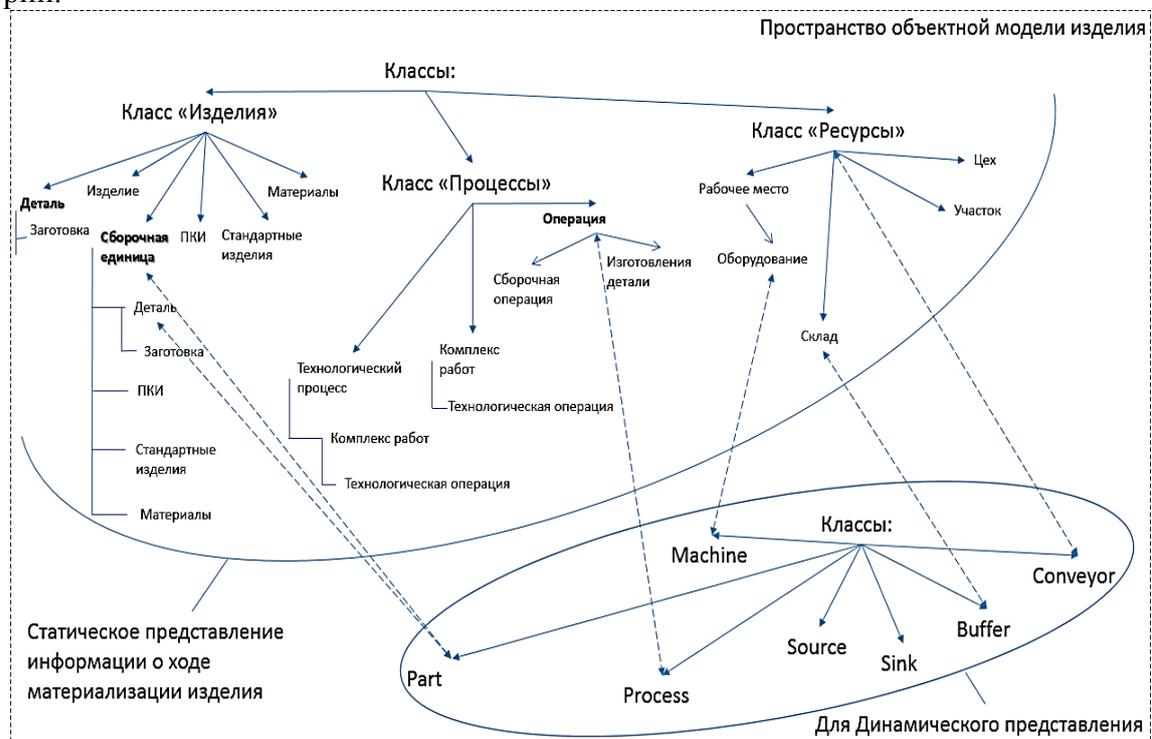


Рис. 5 – Статическое представление и классы для динамического представления объектной модели изделия

Выводы. 1. Разработанная объектная модель производства изделия создает основу для поддержки процессов конструкторско-технологического проектирования изделий ЛА, технологической подготовки производства, организационно-технического проектирования производственных систем.

2. Модель позволяет исследовать уровень связности процедур проектирования изделия, процессов его изготовления, проектирования/реконструкции производственной системы и ее элементов. Тем самым открывается реальная возможность перевода всех перечисленных процедур в режим параллельного инжиниринга.

3. В ходе построения модели выявлен и описан механизм наследования ожиданий и запросов потребителей в форме функциональных свойств текущего состояния изделия на пространстве его жизненного цикла.

4. Разработаны два представления объектной модели: статическое и динамическое. Статическое представление необходимо для оценки производственной мощности

производственной системы. Динамическое представление с использованием систем имитационного моделирования, - для исследования поведения производственной системы в изменяющихся внешних условиях, а также для анализа реальных производственных ситуаций.

Библиографический список

1. Г. Буч Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений, 3-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2008. – 720 с.: ил. – Парал. тит англ.
2. Dassault Systemes, DELMIA Process Engineer, 2010 Manufacturing concept.
3. *Дальский А.М., Базров Б.М., Васильев А.С. и др.* Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / под ред. А. М. Дальского – М.: МАИ, 2000.
4. <http://www.delfoi.com>.
5. *Кулик Ю.П., Кабанов А.А.* Описание демонстрационного примера и результатов моделирования производственных потоков // Научно-исследовательский отчет по опытно-конструкторской работе «Разработка эскизного проекта «Механизмы валидации и верификации результатов технологического и организационно-технического проектирования машиностроительного завода в г. Нижний Новгород и ракетного завода в г. Киров» по Договору № 42820-06060, руководитель работы к.т.н., доцент Кулик Ю. П. Москва, 2012. – 148 с.
6. *Васильев М.С., Кабанов А.А., Кулик Ю.П., Петров К.П.* Сетевые графики – инструмент исследования издержек производства // Третья Научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Исследования и перспективные разработки в авиационной промышленности»: Статьи и материалы конференции. – Москва: ОАО «ОКБ Сухого», 2005. – с. 453-458.
7. Имитационное моделирование производственных систем / под ред. А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение, 1983, стр.63-65.

05.13.18

М.В. Ковба

Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
математико-механический факультет, кафедра алгебры и дискретной математики,
Екатеринбург, mihail.kovba@gmail.com

ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВА ФОНОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ПАССИВНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ СРЕДСТВАХ ОБНАРУЖЕНИЯ

В работе предложена методика формирования массива фоновых поверхностей для исследования сигналообразования в пассивных инфракрасных детекторах, и представлены результаты ее экспериментального применения.

Ключевые слова: *математическая модель, сигналообразование, средство обнаружения, кластерный анализ.*

При разработке новых образцов сигнализационных средств обнаружения (СО) традиционно опираются на большой объем натуральных измерений сигналов от нарушителя. Путем анализа результатов экспериментальных данных формируют научно обоснованные рекомендации по построению и эксплуатации СО, оценивают их потенциальные тактико-технические характеристики. В [1] приведен общий алгоритм исследования средств обнаружения, который предполагает наличие адекватной математической модели сигналообразования в СО и позволяет избежать длительного и трудозатратного накопления банка экспериментальных реализаций сигналов.

В [2] разработана математическая модель сигналообразования для наиболее распространенного типа СО – пассивного инфракрасного средства обнаружения (ПИКСО). Модель реализована программно и позволяет рассчитывать сигнал от нарушителя $U(t)$ как функцию времени на основе информации о распределении температуры по поверхностям охраняемого помещения, самого нарушителя и траектории его движения. Такую информацию предложено получать путем текстурирования поверхностей 3D-моделей помещения и нарушителя тепловизионными снимками.

Многообразие поверхностей охраняемых помещений требует наличия представительного массива полученных экспериментальным путем тепловизионных снимков, что противоречит методике, описанной в [1]. Это противоречие обуславливает актуальность исследования возможности кластеризации тепловизионных снимков на основе критерия влияния их характеристик на полезный сигнал и формирования набора «унифицированных» поверхностей. В статье описаны методика формирования банка унифицированных тепловизионных снимков поверхностей для аппроксимации температурного фона реальных объектов и ее реализация.

На первом этапе проведена тепловизионная съемка, отобранных для исследования 97 различных характерных поверхностей охраняемых помещений (см. таблицу 1), а также нарушителей в различной одежде, при условии значительного отличия температуры в помещении и вне его.

Таблица 1 — Объекты (поверхности) тепловизионных измерений

Название объекта, его условное обозначение	Количество снимков
Радиатор отопления, 4 секции (Р4)	2
Радиатор отопления, 5 секций (Р5)	2
Радиатор отопления, 6 секций (Р6)	5
Радиатор отопления, 7 секций (Р7)	6
Радиатор отопления, 8 секций (Р8)	5
Радиатор отопления, 9 секций (Р9)	5
Радиатор отопления, 10 секций (Р10)	5
Стояк горячего водоснабжения (СТ)	7
Дверной проем (Д)	3
Чайник на плите (в качестве произвольной разнородной тепловой картины, имеющей сильный контраст, Ч)	1
Стена (С)	10
Окно деревянное двустворчатое (разная степень проветривания, разное расположение форточек, ОД2)	34
Окно деревянное трехстворчатое (ОД3)	3
Окно пластиковое двустворчатое (ОП2)	4
Окно деревянное, частично экранированное предметом интерьера (ОЗ)	5

Съемка осуществлялась так, чтобы расстояние от любого объекта съемки до объектива камеры было инвариантным, что позволило синхронизировать масштаб изображения на всех снимках.

Для преобразования получаемых с помощью тепловизора снимков в изображения в формат, при котором каждый пиксель однозначно кодирует температуру исходного кадра с точностью до 0,5 градуса, был разработан и реализован программно специальный алгоритм. Формируемые при этом файлы имеют формат .jpg с минимальным сжатием.

Для каждого снимка нарушителя и каждого элемента множества фоновых объектов с использованием математической модели [2] был рассчитан сигнал в виде множества пар $\{t, U(t)\}$. Всего массив расчетных сигналов содержит 970 реализаций (файлов). При проведении расчетов обеспечивалось постоянство температурной текстуры нарушителя, траектории, способа и скорости его движения.

Формализовано сигналы, соответствующие движению нарушителя на фоне однотипных объектов (поверхностей) должны находиться ближе друг к другу по выбранной метрике и принципиально различаться от сигналов, получаемых при движении ЧН на фоне объектов других типов.

Согласно [3, 4] для анализа полученных экспериментально данных в качестве метрики целесообразно применить коэффициенты ранговой корреляции Кендалла или Спирмена.

Вычисление коэффициентов производилось программно с помощью библиотеки FoundaStat Express 3.0 для .NET 4.0 [5]. В результате вычисления коэффициентов ранговой корреляции для каждой пары в массиве реализаций сигналов (при одинаковых моделях нарушителя) формируется матрица расстояний M , элемент i -ой строки и j -го столбца которой обозначает расстояние между i -ым и j -ым объектами фона.

С использованием матрицы расстояний M была осуществлена иерархическая кластеризация фоновых поверхностей, в качестве способа построения дендрограммы были опробованы методы одиночной, полной и средней связи [6].

Наилучшие результаты кластеризации по совпадению типов фоновых поверхностей внутри одного кластера показал алгоритм, использующий в качестве метрики коэффициент корреляции Кендалла, а в качестве метода построения дендрограммы — невзвешенный метод средней связи [6]. Кластеризация была закончена при достижении расстояния между кластерами, равного 0,4, что позволяет установить статистическое отличие сигналов ПИКСО для движения нарушителя на фоне объектов этих кластеров. Результаты кластеризации

приведены в таблице 2. На рисунке 1 первые два графика относятся к Кластеру 2, третий — к Кластеру 3.

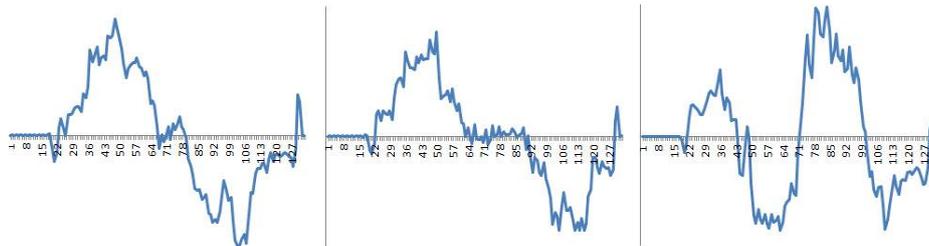


Рис. 1 — Пример кластеризуемых сигналов.

Таблица 2 — Результат разбиения фоновых поверхностей объектов на кластеры (в скобках указано число элементов данного типа)

Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4	Кластер 5
P6 (2)	P4 (2)	P6 (1)	Д (1)	Д (2)
P7 (3)	P5 (2)	P9 (3)	Ч (1)	ОП (1)
P8 (1)	P6 (2)	СТ (1)	С (10)	
P10 (4)	P7 (3)		ОД2 (34)	
СТ (1)	P8 (4)		ОД3 (3)	
	P9 (2)		ОП2 (3)	
	P10 (1)		СТ (5)	
			ОЗ (5)	

Таким образом, проведенные исследования показали следующее:

1. Нарушитель, проходящий на фоне окна, генерирует принципиально отличный сигнал, нежели нарушитель, проходящий на фоне радиатора.
2. По тепловизионным снимкам видно, что в Кластер 1 попали более теплые объекты, чем в Кластеры 2 и 3, то есть амплитуда таких сигналов была выше.
3. Окна из любого материала и любой конфигурации статистически близки с точки зрения генерируемого ПИКСО сигнала.
4. Стены и окна статистически близки, что интуитивно представляется сомнительным. На самом же деле средний коэффициент ранговой корреляции между сигналами ПИКСО после прохождения нарушителя на фоне окна и стены (тепловая картина любой стены не является однородной) равен 0,71, что говорит о высокой степени подобия (совпадения). Объяснить это можно совокупностью следующих факторов: существенно большими температурными различиями между нарушителем и фоном по сравнению с различиями этих фонов; достаточной герметичностью окон; достаточной однородностью тепловой картины окон, которая нарушается только на границах рамы и стекла, которые по площади занимают сравнительно малое пространство снимка; неустойчивостью коэффициента ранговой корреляции к всплескам сигналов — другая метрика могла бы дать отличный от полученного результат.
5. Дверные проемы (в случае закрытой двери) герметичны и их тепловизионные снимки визуально не отличаются от снимков стен, потому кластеризация дверных проемов выглядит правдоподобной.
6. Трубы с горячей водой попали в кластер окон и стен, поскольку большую часть кадра для этих объектов занимает стена, а сама труба параллельна нижней границе кадра.

Таким образом, кластеризация объектов теплового фона помещения выглядит непротиворечивой и логически обоснованной, что позволяет использовать для моделирования теплового фона помещения стандартный набор объектов, заранее подготовленный по описанной методике. В качестве типового объекта кластера предлагается выбрать средний по метрике объект этого кластера.

В результате можно утверждать, что кластеризация фоновых поверхностей возможна, а параметрами, по которым происходит объединение объектов, являются форма тепловых границ и разница температур. Для формирования полного банка типовых поверхностей необходимо продолжить экспериментальную работу.

В дальнейшем исследовании нуждаются проблемы выбора оптимальной метрики для сигналов, а также оптимального алгоритма кластеризации объектов и выборки типового объекта внутри кластера.

Список литературы

1. *Духан Е.И.* Методический инструментарий научного исследования средств обнаружения. Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции «Современные охранные технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов». — г. Заречный, Пензенской области, 2012. — 113 с.
2. *Духан Е.И., Ковба М.В.* Моделирование процессов теплового излучения в пассивных инфракрасных средствах обнаружения. Сборник научных трудов Уральского федерального университета. Выпуск № 14. — Екатеринбург : УрФУ, 2014. — 19 с.
3. *Елисеева И.И., Юзбашев М.М.* Общая теория статистики: Учебник / Под ред. И.И. Елисеевой. — 4-е издание, переработанное и дополненное. — М.: Финансы и Статистика, 2002. — 241 с.
4. Общая теория статистики: Учебник / Под ред. Р.А. Шмойловой. — 3-е издание, переработанное. — М.: Финансы и Статистика, 2002. — 560 с
5. FoundaStat Home: [Электронный ресурс]. 2014. URL: <http://www.foundasoft.com>. (Дата обращения: 24.06.2014).
6. *Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. — М.: Финансы и статистика, 1989.

05.22.10

В.И. Колесов к.т.н., Д.М. Новоселов к.т.н., М.Л. Гуляев

ФГБОУ ВПО Тюменский государственный нефтегазовый университет (ТюмГНГУ),
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, gulyev_ml72@mail.ru

СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПАССАЖИРОПЕРЕВОЗОК

В статье рассматривается подход к задаче управления качеством пассажироперевозок транспортом общего пользования с системных позиций. Получены интегральные оценки качества пассажироперевозок.

Ключевые слова: *качество, пассажироперевозки, методика.*

Постановка задачи. Развитие общественного транспорта в городах – одна из первоочередных задач городских администраций. Её успешное решение предопределяется эффективностью управления качеством пассажироперевозок транспортом общего пользования. Подход к задаче с системных позиций наталкивается на нечеткую её постановку, при этом наиболее слабым местом является рациональная структура показателей качества. Делается попытка хотя бы частично устранить имеющиеся пробелы.

Решение задачи. Управление качеством технологического процесса относится к числу канонических задач. Известны классические подходы к их решению [1]. В частности, широкое распространение получила методология, развитая школой И.Б.Руссмана [2].

Её специфика заключается в том, что экономический аспект жестко увязывается как с необходимостью обеспечения нормативного качества, так и с риском его невыполнения. Идея подхода основана на введении понятия трудности достижения цели d , при этом d интерпретируется как риск недостижения нормативного уровня качества процесса (или ресурса) ε , если реальный уровень его равен μ

$$d = \frac{\varepsilon \cdot (1 - \mu)}{\mu \cdot (1 - \varepsilon)}, \quad (1)$$

где $\mu = \frac{A - A_{min}}{A_{max} - A_{min}}$; $\varepsilon = \frac{A_n - A_{min}}{A_{max} - A_{min}}$;

A_n , A_{min} ; A_{max} - соответственно нормативное, минимальное и максимальное значение показателя качества.

За низкое качество приходится расплачиваться повышением удельных затрат, которые, как подчеркивается в [2], определяются важностью ресурса

$$J = \ln\left(\frac{1}{1 - d}\right), \quad (2)$$

Если приглядеться внимательно к этому соотношению, то легко увидеть, что активно эксплуатируется логит-модель функции полезности. Действительно, простые преобразования (2) приводят к традиционному виду этой модели

$$1 - d = \exp(-J), \quad (3)$$

где $1 - d$ трактуется как полезность, а J - как сопротивление.

Заслуга авторов методологии [2] заключается в том, что они увидели формальное сходство между введенной ими качественной функцией (F) и производственными функциями (ПФ), широко используемыми в экономике. При таком подходе целевая функция управления сложной системой сводится к минимизации генеральной трудности D (либо её

информационного эквивалента), которая выражается через функцию $F(d_1, d_2, \dots, d_n)$. Здесь d_i - трудность достижения i -подцели.

Что же касается производственных функций (ПФ), то это признанный мировым сообществом инструмент экономического моделирования. В таблице 1 приведены рабочие модели важности ресурса для идентификации качественных функций, аналогичных базовым ПФ.

Таблица 1 - Модели важности ресурса

	Вид идентифицируемой функции качества	Модель сопротивления, или важности ресурса J
1	С нулевой эластичностью замены	$J(D) = \max \left[\frac{1}{\lambda_1} \cdot J(d_1), \dots, \frac{1}{\lambda_n} \cdot J(d_n) \right]$
2	Линейная функция качества	$J(D) = \sum_{k=1}^n \lambda_k \cdot J(d_k) + J(d_0)$
3	Функция качества, аналогичная производственной функции Кобба-Дугласа	$J(D) = J(d_0) \cdot \prod_{k=1}^n [J(d_k)]^{\lambda_k}$
4	С постоянной эластичностью замены	$J(D) = \left[\sum_{k=1}^n \lambda_k \cdot [J(d_k)]^{-\alpha} \right]^{-\frac{1}{\alpha}}$

Современные системы управления качеством используют, как правило, рабочий набор i -показателей качества. Так, Европейский стандарт качества пассажироперевозок EN13816 (структура которого приведена на рис. 1) включает 8 групп показателей, при этом каждая из них содержит еще 2 уровня показателей (на рис. 1 нижний уровень не показан), детально определяя анализируемое свойство. Если рассмотреть лишь верхний уровень, то придется ввести трудности достижения 8 подцелей d_i , соответственно каждой i -группе показателей. Постулируется, что к каждой из них предъявляется нормативное требование к качеству ε_i , в то время как в действительности оно равно μ_i , и тогда d_i интерпретируется как риск недостижения i -подсистемой своей цели

$$d_i = \frac{\varepsilon_i \cdot (1 - \mu_i)}{\mu_i \cdot (1 - \varepsilon_i)}, \quad (4)$$

$$\text{где } \mu_i = \frac{X_i - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}}; \quad \varepsilon_i = \frac{X_{in} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}};$$

X_{in} , X_{imin} ; X_{imax} - соответственно нормативное, минимальное и максимальное значение i -показателя качества.

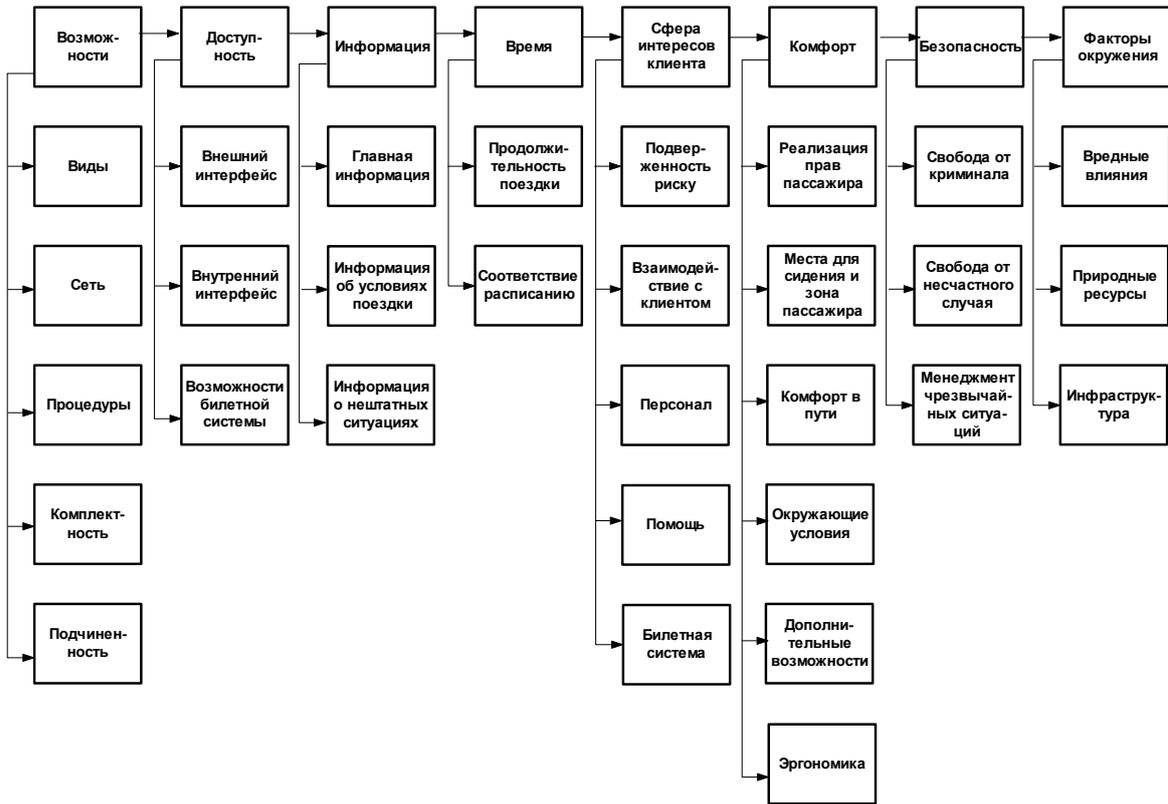


Рис.1 - Структура Европейского стандарта качества пассажироперевозок EN13816

Целевая функция, как отмечалось, ориентирована на минимизацию генеральной трудности D , которая должна быть выражена через квалитативную функцию $F(d_1, d_2, \dots, d_n)$. Используя таблицу моделей (табл.1), легко конвертировать сопротивление J в D (см. соотношение(2))

$$D = 1 - \exp[-J(D)].$$

Одной из типовых является функция качества, аналогичная линейной производственной функции, аналитическое представление которой имеет вид [2]

$$D = 1 - (1 - d_0) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - d_i)^{\lambda_i}. \tag{3}$$

где λ_i - весовые коэффициенты, отвечающие условию нормировки $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$; d_0 - значение D при $d_i = 0$.

Каждое значение d_i в свою очередь является сверткой трудностей d_j более низкого j -уровня. Методика свертки подробно рассмотрена в работе [3].

Есть еще один момент, который следует прокомментировать. В практике оценки качества при многомерном анализе широко используется функция Харрингтона, позволяющая оценить итоговый уровень качества в 5-балльной системе [4]. Как выясняется, оценки качества по Харрингтону и Руссману взаимосвязаны, и существует возможность их конвертации.

В заключении следует отметить, что получение интегральных оценок качества пассажироперевозок имеет не только чисто практический интерес, но позволяет также по итогам их анализа на эластичность сформировать рациональные пути управления эффективностью транспортного обслуживания городского населения. Более того, современные подходы к стратегическому управлению и планированию базируются на использовании аналитической модели, предложенной корпорацией General Electric и

консалтинговой компанией McKinsey & Co. ("модель GE/McKinsey"). которая при оценке конкурентоспособности организации опирается на результаты многомерного анализа. Использование системных принципов в управлении пассажироперевозками радикально меняет процедуру целеполагания и способствует в итоге повышению качества жизни населения города.

Список литературы

1. *Окунев Ю.Б., Плотников В.Г.* Принципы системного подхода к проектированию в технике связи. – М.: «Связь», 1976
2. *Каплинский А.И., Русман И.Б., Умывакин В.М.* Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов системы.- Воронеж: Изд-воВГУ, 1991. – 168 с.
3. *Колесов В.И.* Управление структурой внутригородских перемещений населения. //Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы МНТК. – Тюмень: ТюмГНГУ. – 2014. –С.87-94.
4. *Колесов В.И.* Обобщенная оценка качества процесса //Гео-технические и эксплуатационные проблемы нефтегазовой отрасли. Тюмень: ТюмГНГУ. 2007 – С.340-341.

05.22.10

В.А. Корчагин, В.Н. Красовский

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, waxwork@nm.ru

ГРАФ-МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ ПО МАРШРУТАМ РЕМОНТА С УЧЕТОМ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ НЕЙРОСЕТЕВОМ ПОДХОДЕ

В данной статье представлены полученные модели математического аппарата искусственных нейронных сетей при нейросетевом подходе к решению задачи распределения агрегатов автомобилей (на примере двигателей ЯМЗ-238) по технологическим маршрутам ремонта при их централизованном ремонте по техническому состоянию.

Ключевые слова: предремонтное диагностирование, технологические маршруты ремонта, ремонт “по состоянию”, модели искусственных нейронных сетей.

При нейросетевом подходе к решению задачи распределения агрегатов автомобилей по технологическим маршрутам ремонта при их централизованном ремонте по техническому состоянию (ЦРТС) с целью снижения влияния ошибок оператора-диагноста на результат диагностирования, базовым этапом является построение моделей математического аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) по оптимально подобранным параметрам, согласно блок-схемам алгоритмов разработанной методики [1,2].

В качестве объекта исследования принят двигатель ЯМЗ-238, поступающий в ЦРТС. Каждый контролируемый параметр объекта исследования является отдельным нейроном во входном слое ИНС, а каждый возможный дефект определенного узла двигателя будет являться отдельным нейроном в выходном слое ИНС. Совокупность сигналов нейронов выходного слоя будет образовывать определенное сочетание дефектов.

С целью повышения качества и точности при обучении и тестировании моделей ИНС, распознаваемые дефекты были сгруппированы по общим диагностическим признакам (параметрам). Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты группировки выявляемых дефектов

Обозначение	Наименование
1	2
1. Дефекты цилиндро-поршневой группы (ЦПГ)	
S ₁	Дефект канавки поршня под компрессионное кольцо
S ₂	Дефект компрессионного кольца
S ₃	Дефект юбки поршня
S ₄	Дефект гильзы цилиндра
2. Дефекты кривошипно-шатунного механизма (КШМ)	
S ₅	Дефект шатунных шеек коленчатого вала
S ₆	Дефект коренных шеек коленчатого вала
S ₇	Дефект задней коренной шейки
S ₈	Дефект верхней головки шатуна
3. Дефекты газораспределительного механизма (ГРМ)	
S ₉	Дефект стержня клапана
S ₁₀	Дефект кулачков распределительного вала
S ₁₁	Дефект распределительных шестерен
S ₁₂	Дефект седла клапана
S ₁₃	Дефект направляющих втулок стержня клапана
S ₁₄	Дефект опор распределительного вала

Результаты определения оптимальных параметров построения моделей ИНС для данных условий приведены в таблице 2, где N_x – число нейронов входного слоя (число групп диагностических параметров); N_y – число нейронов выходного слоя (число распознаваемых дефектов объекта исследования). Максимальное количество нейронов в скрытом слое определялось по выведенной формуле нахождения верхнего предельного числа искусственных нейронов по следствию из теорем Арнольда–Колмогорова–Хехт-Нильсена [1], а оптимальное количество искусственных нейронов в скрытом слое методом итерационного наращивания, согласно разработанной методике [1,2].

Таблица 2 – Результаты определения оптимальных параметров моделей ИНС для решения задачи распознавания дефектов объекта исследования

Наименование узла	N_x	N_y	Максимальное количество нейронов в скрытом слое	Оптимальное количество нейронов в скрытом слое
ЦПГ	9	4	22	7
КШМ	4	4	23	5
ГРМ	6	6	46	7

Полученные граф-модели ИНС для решения задачи распознавания дефектов основных узлов двигателей ЯМЗ-238 автомобилей при их ЦРТС представлены на рис. 1, 2, 3.

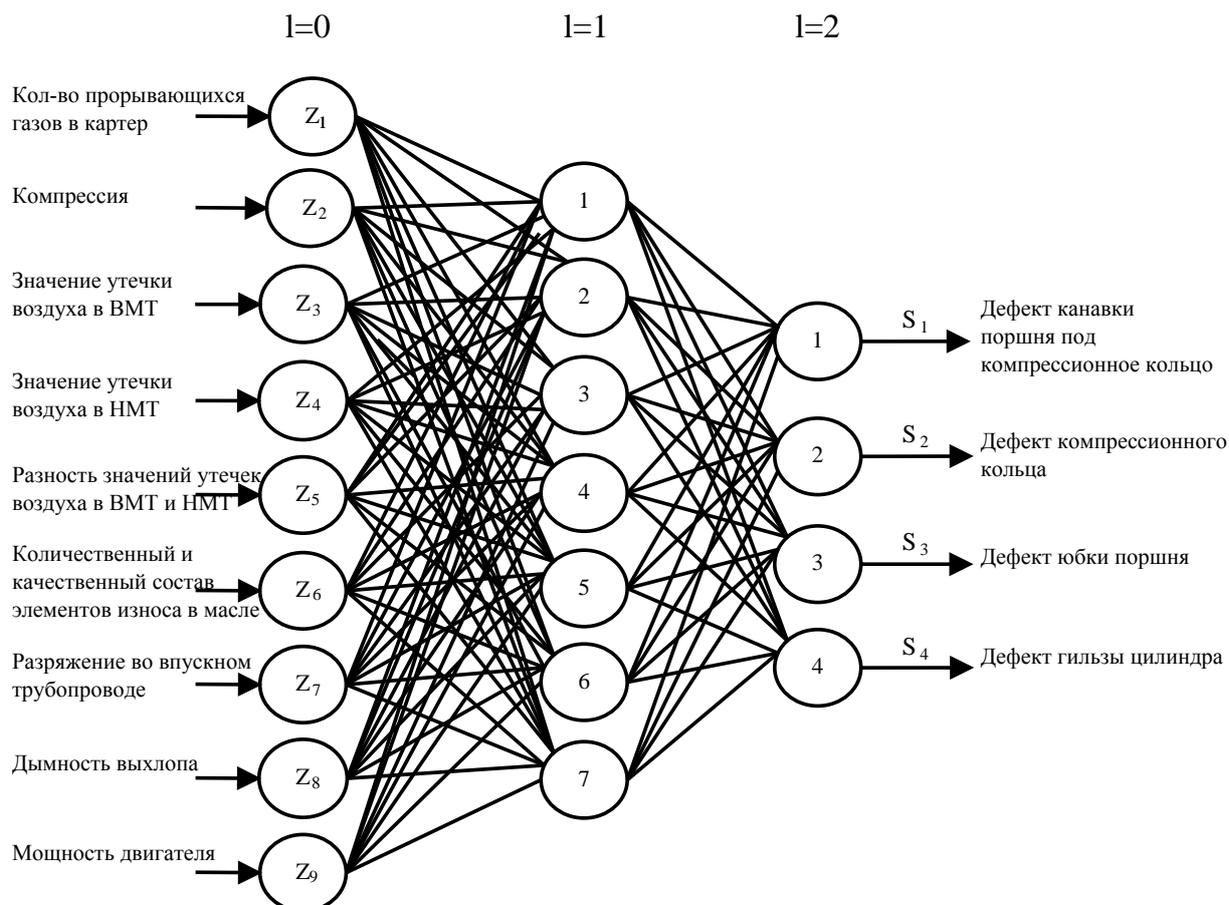


Рис. 1. Граф-модель ИНС для задачи распознавания дефектов ЦПГ

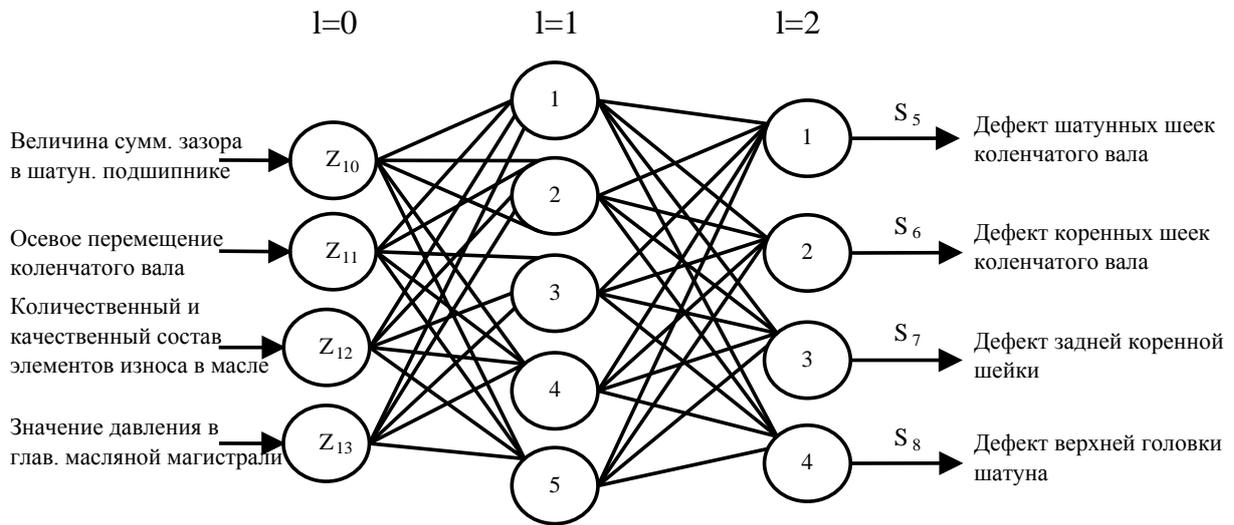


Рис. 2. Граф-модель ИНС для задачи распознавания дефектов КШМ

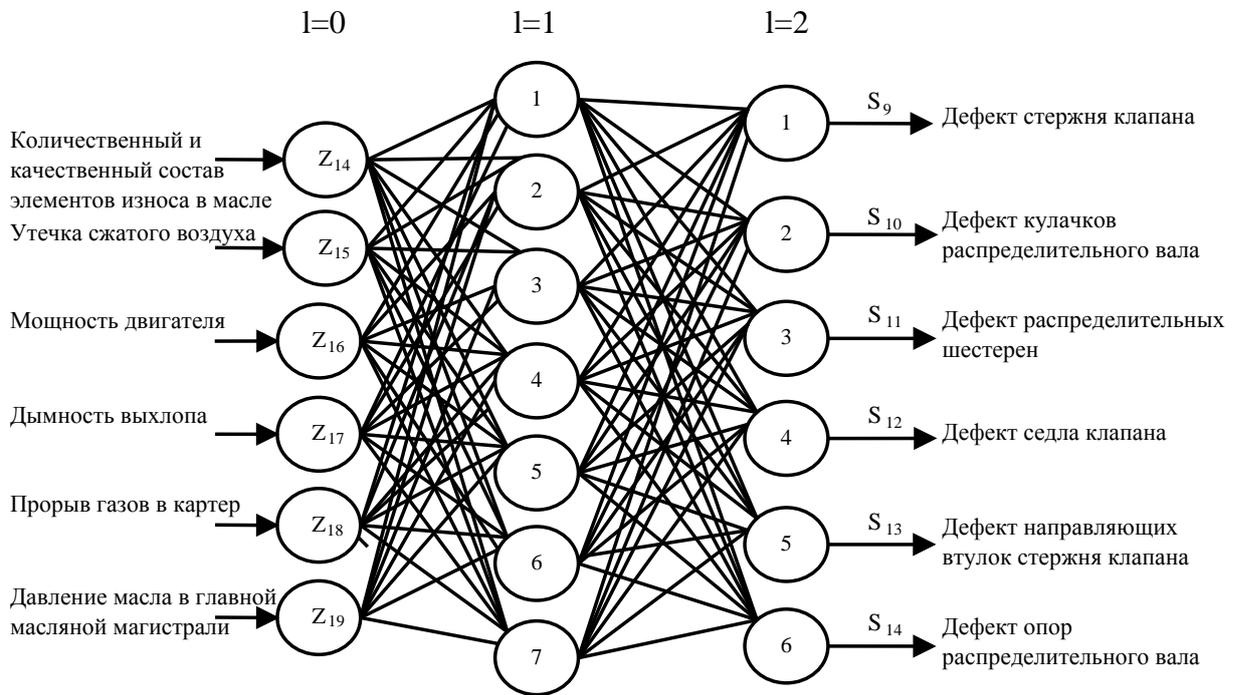


Рис. 3. Граф-модель ИНС для задачи распознавания дефектов ГРМ

Полученные в результате распознанные сочетания дефектов основных узлов объекта исследования формируют прямоугольную матрицу, общий вид которой представлен в виде таблицы 2.

На рис. 4 представлена модель ИНС распределения агрегатов автомобилей при их ЦРТС по технологическим маршрутам ремонта (принятое $n=4$) с учетом их технического состояния.

Таблица 2 - Матрица сочетаний дефектов для основных узлов объекта исследований

№ двигателя	Сочетания дефектов								
	ЦПГ			КШМ			ГРМ		
1	$S_{1,1}$	...	$S_{1,4}$	$S_{1,5}$	...	$S_{1,8}$	$S_{1,9}$	...	$S_{1,14}$
2	$S_{2,1}$	...	$S_{2,4}$	$S_{2,5}$	...	$S_{2,8}$	$S_{2,9}$	...	$S_{2,14}$
3	$S_{3,1}$	...	$S_{3,4}$	$S_{3,5}$	...	$S_{3,8}$	$S_{3,9}$	...	$S_{3,14}$
...
N	$S_{N,1}$	...	$S_{N,4}$	$S_{N,5}$	...	$S_{N,8}$	$S_{N,9}$	...	$S_{N,14}$

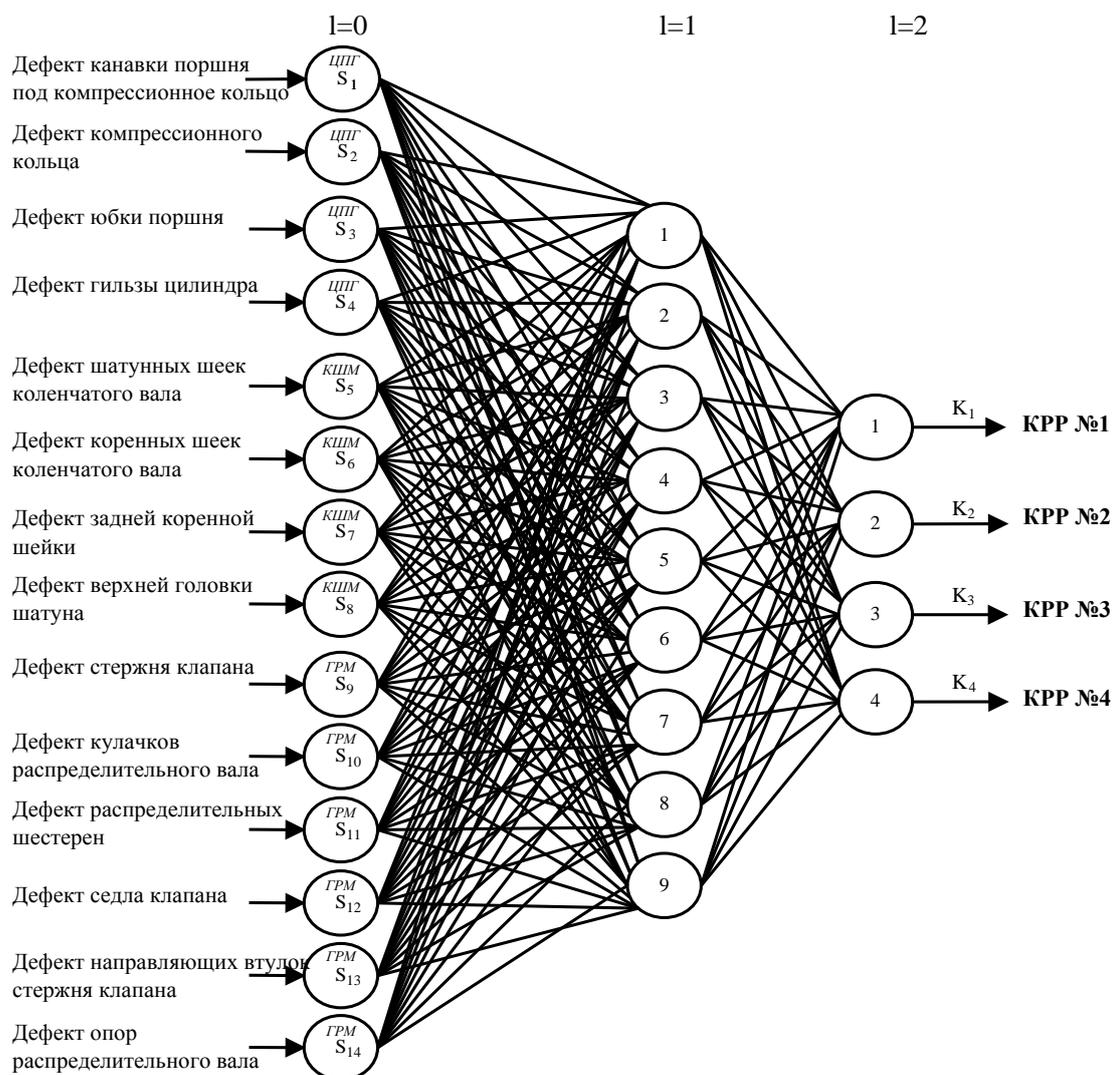


Рис. 4. Граф-модель ИНС для задачи распределения агрегатов автомобилей по маршрутам ремонта с учетом их технического состояния

Таким образом, полученные модели ИНС являются базовыми при организации подсистемы предремонтного диагностирования для поступающих в ЦРТС двигателей ЯМЗ-238 с применением нейросетевого подхода, позволяющими значительно снизить влияние «человеческого фактора» (ошибок распознавания) на заключение оператора-диагноста.

Список литературы

1. Корчагин, В.А. Нейросетевой подход в формировании рациональной системы распределения двигателей ЯМЗ-238 по технологическим маршрутам ремонта // *Научно-технический вестник Поволжья*. №3. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – С. 177-180.
2. Корчагин, В.А., Красовский В.Н. Нейросетевая классификация в распределении ремонтного фонда агрегатов по результатам диагностирования // *Известия ТулГУ. Технические науки*. Вып. 5. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – С. 127-133.

05.23.16

¹В.Н. Коханенко, ²М.Ф. Мицик, ²М.А. Лемешко, ²Е.В. Шевченко, ²Я.Ю. Лаврова¹ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет», (НПИ).
Россия, г. Новочеркасск, super-viktorkrutoi2013@yandex.ru²Институт сферы обслуживания и предпринимательства, филиал Донского
государственного технического университета, г. Шахты, m_mits@mail.ru**ГРАНИЧНАЯ ЗАДАЧА СВОБОДНОГО РАСТЕКАНИЯ БУРНОГО ПОТОКА
В ШИРОКОМ РУСЛЕ С МАЛЫМ УКЛОНОМ ДНА**

Предложен способ определения геометрии, глубины и скорости потока вдоль крайней линии тока в плоскости годографа скорости для бурного потенциального течения при его свободном растекании в широком отводящем русле в случае малого продольного уклона дна. Получена система уравнений для определения параметров потока вдоль крайней линии тока.

Ключевые слова: безнапорный режим течения, прямоугольная труба, свободное растекание, широкое русло с малым продольным уклоном, бурный потенциальный поток, потенциальное течение.

В работах [1-3] предложено решение задачи свободного растекания бурного потенциального потока в широком горизонтальном русле. В практике гидротехнического строительства также используются отводящие русла с малым продольным уклоном дна. Для эффективного выбора крепления выходного участка русла необходимо знать величины скоростей, глубин и геометрию потока. В работе предлагается аналитический метод расчета параметров потока с использованием перехода из физической плоскости течения потока в плоскость годографа скорости.

При условии потенциальности потока справедлива связь между физической плоскостью Oxy и плоскостью годографа скорости $\Gamma(\tau, \theta)$ [1, 2]

$$dz = \left(d\varphi + i \frac{h_0}{h} d\psi \right) \frac{1}{u} e^{i\theta}, \quad (1)$$

где: $z = x + iy$; θ – угол между вектором скорости и осью Ox ; u – модуль местной скорости потока; h – местная глубина потока; h_0, u_0 – глубина и скорость потока на выходе из трубы; φ – потенциальная функция, ψ – функция тока; x, y – координаты потока в плоскости его течения Oxy .

Из уравнений движения двумерного планового потока без учета сил сопротивления следует система [4]:

$$\begin{cases} u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} = -g \frac{\partial h}{\partial x}; \\ u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} = -g \frac{\partial h}{\partial y}; \\ \frac{\partial}{\partial x} (hu_x) + \frac{\partial}{\partial y} (hu_y) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

здесь u_x, u_y – проекции вектора местной скорости на оси Ox, Oy .

При условии потенциальности потока из (2) следует уравнение гидродинамического напора для случая малого наклона дна русла

$$H(x) = u^2 / (2g) + h \cos \mu = H_0 + x \sin \mu, \quad (4)$$

где $H_0 = u_0^2 / (2g) + h_0 \cos \mu$, μ – угол наклона русла к оси Ox (рис 1).

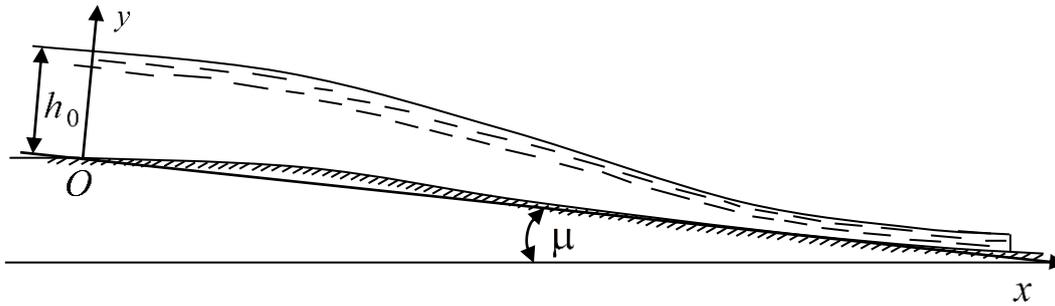


Рисунок 1 – Растекание бурного потока с малым уклоном дна

В (1) будем полагать переменные x, y , а следовательно и функции φ и ψ за функции переменных u, θ . Вводя переменную $\tau = \frac{u^2}{2gH(x)}$, где $\frac{1}{3} < \tau < 1$, из (1), (2) и (4) получим базовую систему для решений плановой задачи с малым уклоном дна

$$\begin{cases} H(x) \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \frac{h_0}{2} \cos \mu \cdot \frac{3\tau - 1}{\tau(1-\tau)^2} \frac{\partial \psi}{\partial \theta}; \\ H(x) \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = 2h_0 \cos \mu \cdot \frac{\tau}{1-\tau} \frac{\partial \psi}{\partial \tau}; \\ H(x) = u^2 / (2g) + h \cos \mu. \end{cases} \quad (8)$$

Если уклон дна отсутствует, то $\mu = 0$ и из (8) следует известная [3] система уравнений движения бурного потенциального потока.

Поставим граничную задачу свободного растекания потока с малым продольным уклоном μ в плоскости течения потока (рис. 2)

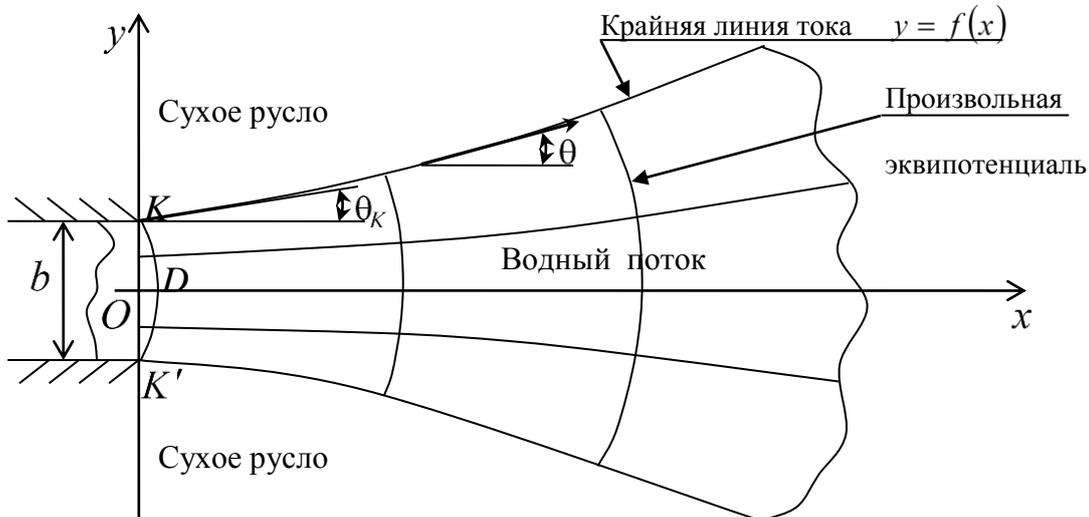


Рисунок 2 – Схема свободного растекания бурного потенциального потока с малым уклоном дна

Пусть на выходе из трубы осесимметричный поток отклоняется вдоль крайней линии тока на конечный угол θ_K , как и в работе [1]. Граничные условия задачи: 1) $x=0, u=u_0, h=h_0$ – на выходе потока из трубы; 2) $\theta=\theta_K$ – на крайней линии тока; 3) $\theta=0$ – вдоль оси симметрии потока; 4) $h \rightarrow 0$ при $x \rightarrow \infty$; 5) вдоль граничной линии тока $y=f(x)$; $y'_x = tg\theta$, $\theta \rightarrow \theta_{\max}$ при $x \rightarrow \infty$; где θ_{\max} – угол растекания потока вдоль крайней линии тока [4] при $x \rightarrow \infty$.

Необходимо, пользуясь уравнениями движения потока (2), условием (3) и уравнением (4), найти уравнение крайней линии тока и параметры потока u, h, θ в замкнутой области течения потока.

Воспользуемся уравнением для функции тока (10), одно из решений которого имеет вид:

$$\psi = A\tau^{-1/2} \sin \theta. \tag{13}$$

Соответствующее решение для потенциальной функции:

$$\varphi = \frac{Ah_0 \cos \theta \cdot \cos \mu}{H(x) \tau^{1/2}(1-\tau)}. \tag{14}$$

Определим предварительно угол θ_K на выходе потока из трубы. Выделим элементарную струйку вдоль стенки трубы шириной b_1 и запишем уравнение расхода для выделенной струйки до выхода ее из отверстия и после (рис. 3)

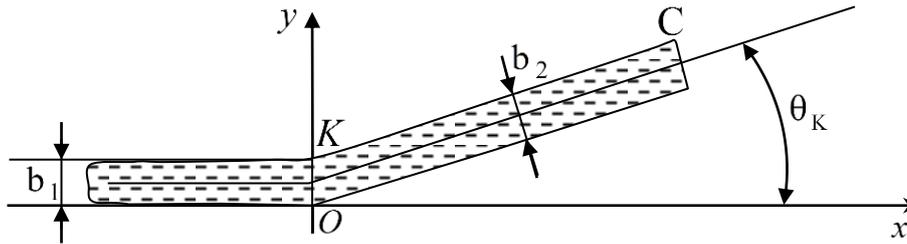


Рисунок 3 – Схема для определения угла поворота θ_K элементарной струйки при входе в расширение

Из уравнения сохранения расхода жидкости следует:

$$u_0 h_0 b_1 = u_K h_K b_2 \tag{15}$$

Учитывая равенство $b_1 \cos \theta_K = b_2$, уравнение (15) преобразуем к виду:

$$\cos \theta_K = \frac{u_K h_K}{u_0 h_0}. \tag{16}$$

Полагая энергию потока в сечении $O - K$ неизменной [4] и учитывая, что

$$u_K = \tau_K^{1/2} \sqrt{2gH_0}; \quad h_K \cos \mu = H_0(1-\tau_K), \tag{17}$$

из (16) получим

$$\tau_0^{1/2}(1-\tau_0)\cos \theta_K = \tau_K^{1/2}(1-\tau_K), \tag{18}$$

что подтверждает правильность выбора функции тока (13) и потенциальной функции в виде (14). Значение угла θ_K можно найти из системы

$$\begin{cases} \tau_0^{1/2}(1-\tau_0)\cos \theta_K = \tau_K^{1/2}(1-\tau_K); \\ \sin \theta_K = \tau_K^{1/2} \sin \theta_{\max}. \end{cases} \tag{20}$$

Согласно выводам в работе [4] для потоков с малым уклоном дна θ_{\max} совпадает с углом для плоского горизонтального русла.

Из условия отсечения крайней линией тока половины расхода потока от оси симметрии из уравнения (13) определяем постоянную A :

$$A = u_0 b / (2 \sin \theta_{\max}). \tag{23}$$

Найдем параметры потока в точке $D(x_D; 0)$ (см. рис. 2). Вдоль эквипотенциали KDK' выполняется условие (из рассмотрения точек K и D):

$$\frac{Ah_0 \cos \theta_K \cos \mu}{H_0 \tau_K^{1/2}(1-\tau_K)} = \frac{Ah_0 \cos \mu}{H(x_D) \tau_D^{1/2}(1-\tau_D)}. \tag{24}$$

Упрощая (24), получим

$$H(x_D) \cdot \tau_D^{1/2}(1-\tau_D)\cos \theta_K = H_0 \cdot \tau_K^{1/2}(1-\tau_K). \tag{25}$$

Принимая приближенно форму нулевой эквипотенциали в виде окружности постоянного радиуса, определим ее радиус R :

$$R = b / (2 \sin \theta_K). \quad (27)$$

Тогда $x_D = R \cdot (1 - \cos \theta_K)$; $H(x_D) = H_0 + x_D \sin \mu$. (28)

Теперь из (25) при известных $H(x_D)$, x_D , θ_K найдем значение параметра τ_D , как решение кубического уравнения, удовлетворяющее условию $\tau_0 < \tau_D < \tau_K$

$$\tau_D (1 - \tau_D)^2 = \frac{H_0^2 \tau_K (1 - \tau_K)^2}{H^2(x_D) \cdot \cos^2 \theta_K}. \quad (30)$$

Таким образом, определены параметры потока на нулевой эквипотенциали.

Для нахождения параметров потока вдоль его оси симметрии воспользуемся дифференциальной связью (1), полагая

$$\theta \equiv 0; d\psi \equiv 0; dy \equiv 0. \quad (32)$$

В результате имеем $dx = \frac{d\varphi}{u} = \frac{d\varphi}{\tau^{1/2} \sqrt{2gH(x)}}$. (33)

Используя (14), определим $d\varphi$ с учетом малого уклона отводящего русла:

$$d\varphi = \frac{Ah_0 \cos \mu \cdot (3\tau - 1)}{2H(x) \tau^{3/2} (1 - \tau)^2} d\tau. \quad (35)$$

Подставив правую часть (35) в уравнение (33), получим:

$$\sqrt{2g} H^{3/2}(x) dx = \frac{Ah_0 \cos \mu \cdot (3\tau - 1)}{2 \tau^2 (1 - \tau)^2} d\tau. \quad (36)$$

Интегрируя (36), получим уравнение, представляющее собой связь между абсциссой x и параметром τ , вдоль оси симметрии потока

$$\begin{aligned} & \frac{2\sqrt{2g}}{5 \sin \mu} \left\{ (H_0 + x \sin \mu)^{5/2} - (H_0 + x_D \sin \mu)^{5/2} \right\} = \\ & = \frac{Ah_0 \cos \mu}{2} \left[\frac{1 + \tau}{\tau(1 - \tau)} - \ln \frac{1 - \tau}{\tau} - \frac{1 + \tau_D}{\tau_D(1 - \tau_D)} + \ln \frac{1 - \tau_D}{\tau_D} \right]. \end{aligned} \quad (38)$$

Используя зависимость (38), можно решать следующие задачи.

Задача № 1. Пусть задана точка A на оси Ox (рис. 4) с абсциссой x_A , тогда можно определить параметр τ_A из уравнения (38) и далее находим

$$u_A = \tau_A^{1/2} \sqrt{2gH(x_A)}; \quad h_A = \frac{H(x_A) \cdot (1 - \tau_A)}{\cos \mu}; \quad H(x_A) = H_0 + x_A \sin \mu. \quad (39)$$

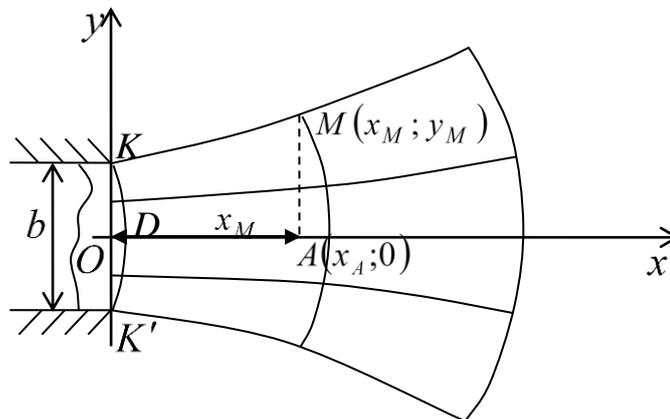


Рисунок 4 – Крайняя линия тока и параметры вдоль нее

Задача № 2. Если задан параметр τ_A , то можно, решив уравнение (38), определить абсциссу x_A и далее найти $H(x_A), u_A$ и h_A по формулам (39).

Найдем уравнение крайней линии тока и параметров вдоль нее (рис. 4).

Задаем абсциссу x_A , определяем $H(x_A)$ и τ_A . Далее рассмотрим систему

$$\begin{cases} \sin \theta_M = \tau_M^{1/2} \sin \theta_{\max}; \\ \frac{\cos \theta_M}{H(x_M) \tau_M^{1/2} (1 - \tau_M)} = \frac{1}{H(x_A) \tau_A^{1/2} (1 - \tau_A)}. \end{cases} \quad (40)$$

В системе (40) три неизвестные величины θ_M, x_M, τ_M , поэтому используем связь (1). Так как перемещения выполняются вдоль крайней линии тока, то $d\psi \equiv 0$, разделяем действительную и мнимую части в (1):

$$\begin{cases} H(x) \sqrt{2gH(x)} dx = \frac{A \cos \theta \cdot \cos \mu \cdot h_0}{\tau^{1/2}} \left[\frac{(3\tau - 1) \cos \theta}{2\tau^{3/2} (1 - \tau)^2} d\tau - \frac{\tau \sin \theta}{\tau^{3/2} (1 - \tau)} d\theta \right]; \\ H(x) \sqrt{2gH(x)} dy = \frac{A \sin \theta \cdot \cos \mu \cdot h_0}{\tau^{1/2}} \left[\frac{(3\tau - 1) \cos \theta}{2\tau^{3/2} (1 - \tau)^2} d\tau - \frac{\tau \sin \theta}{\tau^{3/2} (1 - \tau)} d\theta \right]. \end{cases} \quad (41)$$

Так как вдоль линии тока $d\psi \equiv 0$, то из первого уравнения системы (40):

$$\cos \theta d\theta = \sin \theta_{\max} d\tau / (2\tau^{1/2}). \quad (43)$$

С учетом (42), (43) система (41) преобразуется к виду:

$$\begin{cases} H(x) \sqrt{2gH(x)} dx = \frac{A h_0 \cos \mu}{2} \left[\frac{(3\tau - 1)}{\tau^2 (1 - \tau)^2} - \frac{2 \sin^2 \theta_{\max}}{(1 - \tau)^2} \right] d\tau; \\ H(x) \sqrt{2gH(x)} dy = A \cdot h_0 \cos \mu \cdot \sin \theta_{\max} d \left[\frac{\cos \theta}{\tau^{1/2} (1 - \tau)} \right]. \end{cases} \quad (44)$$

Интегрируя оба уравнения системы (44), с учетом (43) получим систему для определения параметров потока вдоль крайней линии тока:

$$\begin{cases} \frac{2\sqrt{2g}}{5 \sin \mu} [H^{5/2}(x) - H^{5/2}(x_0)] = \frac{A h_0 \cos \mu}{2} \left[\frac{1 + \tau}{\tau(1 - \tau)} - \frac{2 \sin^2 \theta_{\max}}{1 - \tau} - \ln \frac{1 - \tau}{\tau} - \frac{1 + \tau_K}{\tau_K (1 - \tau_K)} + \ln \frac{1 - \tau_K}{\tau_K} + \frac{2 \sin^2 \theta_{\max}}{1 - \tau} \right]; \\ H(x) \sqrt{2gH(x)} \left(y - \frac{b}{2} \right) = A \cdot h_0 \cos \mu \cdot \sin \theta_{\max} \frac{\cos \theta}{\tau^{1/2} (1 - \tau)}; \\ \sin \theta_M = \tau_M^{1/2} \sin \theta_{\max}; \\ \frac{\cos \theta_M}{H(x_M) \tau_M^{1/2} (1 - \tau_M)} = \frac{1}{H(x_A) \tau_A^{1/2} (1 - \tau_A)}. \end{cases} \quad (47)$$

Система (47) включает в себя четыре уравнения и содержит четыре неизвестные $x_M, y_M, \tau_M, \theta_M$, т.е. система (47) является замкнутой. Эта система позволяет исключить параметр θ_M , так как

$$\cos \theta_M = \sqrt{1 - \tau_M \sin^2 \theta_{\max}}; \quad \sin \theta_M = \tau_M^{1/2} \sin \theta_{\max}, \quad (48)$$

и решение системы сводится к определению трех неизвестных x_M, y_M, τ_M , таких, что

$$\tau_K < \tau_M \leq 1 \quad (49)$$

Система (47) решалась с помощью пакета Maple 9.5 [5].

Вывод: получено решение задачи свободного растекания бурного потенциального потока при малых продольных уклонах дна отводящего русла. Результаты показывают, что степень растекания в поперечном направлении уменьшается в сравнении с растеканием потока в горизонтальном русле. Из полученной системы уравнений следует частный случай при отсутствии уклона дна, т.е. $\mu = 0$.

Список литературы

1. *Коханенко, В.Н.* Вывод основной системы уравнений движения двумерного потока в плоскости годографа скорости и поиск её частных решений [Текст]: монография / В.Н. Коханенко. – М., 1996. – 98 с. – Деп. ВИНТИ 10.12.96, № 3584-В.
2. *Ширяев В.В., Мицик М.Ф., Дуванская Е.В.* Развитие теории двумерных плановых потоков в современных условиях: монография под общей ред. В.В. Ширяева. – Шахты: ЮРГУЭС, 2007. - 193 с.
3. *Коханенко, В.Н.* Двухмерные в плане бурные стационарные потоки за водопропускными сооружениями в условиях свободного растекания [Текст]: дисс. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук: 05.23.16: Коханенко Виктор Николаевич. – М., 1997. – 238 с.
4. *Емцев, Б.Т.* Двухмерные бурные потоки [Текст] / Б.Т. Емцев. – М.: Энергия, 1967. – 212 с.
5. *Дьяконов, В.П.* Maple 7: учебный курс. [Текст] / В.П. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2002. – 672 с.

05.13.18

Е.Л. Кузнецова д.ф.-м.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра «Проектирование автоматических космических
комплексов», Москва, lareyna@mail.ru

СОПРЯЖЕННЫЙ ТЕПЛООБМЕН В АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЕ

В данной работе на основе аналитического решения второй начально-краевой задачи теплопроводности в анизотропной пластине и простейшей задачи пограничного слоя предпринята попытка аналитически исследовать характерные особенности сопряженного теплообмена на границах анизотропных тел. Решение этой задачи особенно актуально для исследования проблемы тепловой защиты элементов конструкций современных гиперзвуковых летательных аппаратов, а также различных элементов энергетических систем и машиностроения.

Ключевые слова: сопряженный теплообмен, анизотропное тело, тепловые потоки, теплопроводность

Для аналитического исследования сопряженного теплообмена необходимо сделать ряд следующих предположений:

- теплообмен является квазистационарным; - в уравнениях сохранения импульса и энергии инерционные члены предполагаются малыми по сравнению с вязкими, диссипативными и градиентными членами, в соответствии с чем конвективными слагаемыми в этих уравнениях можно пренебречь; - вектор скорости набегающего потока направлен против вектора внешней нормали к наружной границе пластины; пограничный слой симметричен относительно точки полного торможения, а теплообмен имеет место на конечном участке вдоль продольной оси (рис. 1).

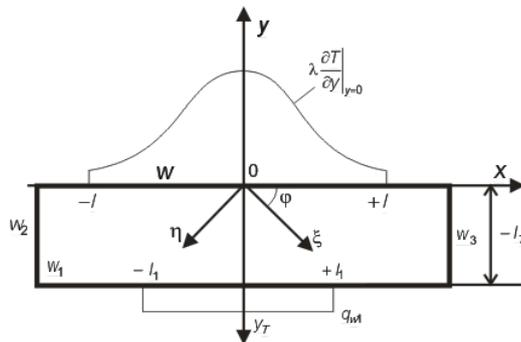


Рис.1. Расчетная схема.

На внутренней границе пластины теплообмен также задается на конечном участке, а на боковых границах пластины тепловые потоки равны нулю.

В соответствии с этими предположениями система уравнений для задачи сопряженного теплообмена будет иметь вид

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu(T) \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0, \quad 0 < y < \delta_e(x), \quad 0 < x < l; \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\mu(T)}{2} \left(1 - \frac{1}{Pr} \right) \frac{\partial u^2}{\partial y} \right] = 0, \quad 0 < y < \delta_e(x), \quad 0 < x < l; \tag{2}$$

$$p = \rho RT, \quad 0 < y < \delta_e(x), \quad 0 < x < l; \tag{3}$$

$$u(x,0) = 0, \quad y = 0, \quad 0 < x < l; \tag{4}$$

$$u(x, \delta_e(x)) = u_e(x), T(x, \delta_e(x)) = T_e(x), T(x, 0) = T_w(x),$$

$$\frac{dp_e}{dx} = -\rho u_e \frac{du_e}{dx}, y = \delta_e(x), 0 \leq x \leq l; \quad (5)$$

$$T|_{y_T=0} = T|_{y=0} = T_w, -\infty < x < \infty, y_T = y = 0, t > 0; \quad (6)$$

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda_{11} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + 2\lambda_{12} \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} + \lambda_{22} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, -\infty < x < \infty, 0 < y < l_T, t > 0; \quad (7)$$

$$-\left(\lambda_{21} \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{22} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \Big|_{y_T=0} = \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} \cdot \eta(l - |x|) \quad (8)$$

$$-\infty < x < \infty, y_T = y = 0, t > 0;$$

$$\left(\lambda_{21} \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{22} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \Big|_{y_T=l_T} = q_{w1} \eta(l_1 - |x|), -\infty < x < \infty, y_T = l_T, t > 0; \quad (9)$$

$$\eta(\psi) = \begin{cases} 1, & \psi > 0 \\ 0, & \psi < 0; \end{cases}$$

$$\lambda_{11} \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{12} \frac{\partial T}{\partial y} = 0, x \rightarrow -\infty, 0 < y_T < l_T, t > 0; \quad (10)$$

$$\lambda_{11} \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{12} \frac{\partial T}{\partial y} = 0, x \rightarrow \infty, 0 < y_T < l_T, t > 0; \quad (11)$$

$$\lambda_{11} = \lambda_\xi \cos^2 \varphi + \lambda_\eta \sin^2 \varphi,$$

$$\lambda_{22} = \lambda_\xi \sin^2 \varphi + \lambda_\eta \cos^2 \varphi, \quad (12)$$

$$\lambda_{12} = \lambda_{21} = (\lambda_\xi - \lambda_\eta) \sin \varphi \cos \varphi;$$

$$T(x, y_T, 0) = 0, -\infty < x < \infty, 0 < y_T < l_T, t = 0; \quad (13)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0, x \rightarrow \pm\infty, 0 < y_T < l_T, t \geq 0. \quad (14)$$

Для решения общей проблемы (1)–(14) можно воспользоваться аналитическим решением задачи анизотропной теплопроводности (7)–(14), для которой вначале задается постоянное значение плотности теплового потока $\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} \eta(l - |x|) = q_w, x \in (-l, +l)$ в условии сопряжения

(8). Такое решение впервые получено авторами путем последовательного применения преобразования Фурье по переменной x и преобразования Лапласа по переменной t . Оно имеет следующий вид:

$$T(x, y, t) = \frac{q_w}{2\lambda_{22}\gamma l_T} \int_0^t F_1(x, y, \tau) \Theta_3^-(y, \tau) d\tau + \frac{q_{w1}}{2\lambda_{22}\gamma l_T} \int_0^t F_2(x, y, \tau) \Theta_3^+(y, \tau) d\tau, \quad (15)$$

$$F_1(x, y, \tau) = \operatorname{erf} \frac{\sqrt{\gamma}(l + \alpha y - x)}{2\sqrt{\beta\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\sqrt{\gamma}(l - \alpha y + x)}{2\sqrt{\beta\tau}},$$

$$F_2(x, y, \tau) = \operatorname{erf} \frac{\sqrt{\gamma}(l_1 + \alpha(y - l_T) - x)}{2\sqrt{\beta\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\sqrt{\gamma}(l_1 - \alpha(y - l_T) + x)}{2\sqrt{\beta\tau}},$$

$$\Theta_3^-(y, \tau) = 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \cos \frac{k\pi y}{l_T} \exp\left(-\frac{k^2 \pi^2}{\gamma l_T^2} \tau\right), \Theta_3^+(y, \tau) = 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \cos \frac{k\pi(l_T - y)}{l_T} \exp\left(-\frac{k^2 \pi^2}{\gamma l_T^2} \tau\right),$$

$$\alpha = \lambda_{12} / \lambda_{22}, \beta = \lambda_\xi \lambda_\eta / \lambda_{22}^2, \gamma = c\rho / \lambda_{22},$$

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-\xi^2) d\xi.$$

$$\text{При этом } \frac{\partial \Theta_3^-(y, \tau)}{\partial y} = \begin{cases} -\frac{2\pi}{l_T} \sum_{k=1}^{\infty} k \sin \frac{k\pi y}{l_T} \exp\left(-\frac{k^2 \pi^2}{\gamma l_T^2} \tau\right), & 0 < y < l_T \\ \gamma l_T \delta(\tau) \equiv \gamma l_T \delta(\tau - 0), & y = 0 \\ 0, & y = l_T, \end{cases} \quad (16)$$

$$\frac{\partial \Theta_3^-(y, \tau)}{\partial y} = \begin{cases} \frac{2\pi}{l_T} \sum_{k=1}^{\infty} k \sin \frac{k\pi(l_T - y)}{l_T} \exp\left(-\frac{k^2 \pi^2}{\gamma l_T^2} \tau\right), & 0 < y < l_T \\ 0, & y = 0 \\ \gamma l_T \delta(\tau) \equiv \gamma l_T \delta(\tau - 0), & y = l_T. \end{cases}$$

Здесь $\delta(\tau - 0)$ – дельта-функция Дирака.

Для определения q_w в (15) проинтегрируем по переменной y уравнение сохранения импульса (1) с использованием краевых условий (4) и (5), получим

$$u(x, y) = \frac{1}{2\mu_w} \frac{dp_e(x)}{dx} (y^2 - \delta_e(x)y) + u_e(x) \frac{y}{\delta_e(x)}, \quad (17)$$

используя которое в уравнении энергии (2) находим распределение температуры

$$T(x, y) = T_w(x) - \frac{k\mu_w}{\lambda_w} \left(\frac{\alpha_1}{4} y^4 + \frac{\beta_1}{3} y^3 + \frac{\gamma_1}{2} y^2 \right) + \quad (18)$$

$$\left[\frac{T_e(x) - T_w(x)}{\delta_e(x)} + \frac{k\mu_w}{\lambda_w} \left(\frac{\alpha_1}{4} \delta_e^3(x) + \frac{\beta_1}{3} \delta_e^2(x) + \frac{\gamma_1}{2} \delta_e(x) \right) \right] y,$$

$$k = 1 - \frac{1}{Pr}, \quad \alpha_1 = \frac{1}{2\mu_w^2} \left(\frac{dp_e}{dx} \right)^2, \quad \beta_1 = -\frac{3}{4} \frac{\delta_e(x)}{\mu_w^2} \left(\frac{dp_e}{dx} \right)^2 + \frac{3u_e(x)}{2\mu_w \delta_e(x)} \left(\frac{dp_e}{dx} \right),$$

$$\gamma_1 = \left(\frac{\delta_e(x)}{2\mu_w} \frac{dp_e}{dx} \right)^2 - \frac{u_e(x)}{\mu_w} \frac{dp_e}{dx} + \frac{u_e^2(x)}{\delta_e^2(x)}.$$

продифференцировав которое по y на границе $y = 0$, получим

$$q_w = \lambda_w \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = \lambda_w \frac{T_e(x) - T_w(x)}{\delta_e(x)} + k\mu_w \left[\frac{\alpha}{4} \delta_e^3(x) + \frac{\beta}{3} \delta_e^2(x) + \frac{\gamma}{2} \delta_e(x) \right] \quad (19)$$

Выражение (19) нельзя подставлять в решение (15), поскольку в (15) q_w постоянно на интервале $x \in (-l, l)$, а значения q_w , рассчитанные по (19), существенно изменяются вдоль переменной x . Поэтому для согласования (19) с решением (15) используется следующая процедура (рис. 2).

Интервал $x \in (0, l)$ точками $x_i, i = \overline{1, n}$ разбивается на n элементарных участков $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$, на которых значение плотности теплового потока принимается постоянным и равным $q_{wi} = (q_w(x_{i+1}) + q_w(x_i))/2, i = \overline{1, n}$. Аналогично, с учетом симметрии q_w относительно точки $x = 0$, разбивается интервал $x \in (-l, 0)$ (рис. 2а). В результате элементарная плотность теплового потока q_{wi} на интервалах $(-x_{i+1}, -x_i)$ и (x_i, x_{i+1}) равна разности плотностей тепловых потоков, действующих на интервалах $(-x_{i+1}, x_{i+1})$ и $(-x_i, x_i)$ (рис. 2б), т.е. $q_{wi} = q_{wi} \eta(x_{i+1} - |x|) - q_{wi} \eta(x_i - |x|)$, а весь тепловой поток (19) от пограничного слоя к границе w сопряжения равен сумме

$$q_w = \sum_{i=0}^{n-1} [q_{wi} \eta(x_{i+1} - |x|) - q_{wi} \eta(x_i - |x|)]. \quad (20)$$

Такой подход позволяет для каждого слагаемого выражения (20) получить решение (15) и использовать принцип суперпозиции. Тогда температуру границы w сопряжения можно найти из решения системы трансцендентных уравнений, полученных суперпозицией решений (15) для каждого слагаемого выражения (20)

$$T_w(x_j) \approx \sum_{i=0}^{n-1} \left\{ q_w(x_i, T_w(x_i)) \eta(x_{i+1} - |x|) \frac{1}{\lambda_{22} \gamma} \int_0^t F_1(x_j, 0, \tau, x_{i+1}) \Theta_3^-(0, \tau) d\tau - \right. \\ \left. - q_w(x_i, T_w(x_i)) \eta(x_i - |x|) \frac{1}{\lambda_{22} \gamma} \int_0^t F_1(x_j, 0, \tau, x_i) \Theta_3^-(0, \tau) d\tau \right\} + \\ + \frac{q_{w1}}{\lambda_{22} \gamma} \int_0^t F_2(x_j, l_T, \tau) \Theta_3^+(l_T, \tau) d\tau, \quad j = \overline{0, n-1}. \quad (21)$$

Система нелинейных уравнений (21) относительно $T_w(x_0), T_w(x_1), \dots, T_w(x_{n-1})$ решается методом Ньютона. С помощью $T_w(x_j), j = \overline{0, n-1}$ можно определить плотность тепловых потоков (20), подставив которые в решение (15), получим распределение температур в пластине.

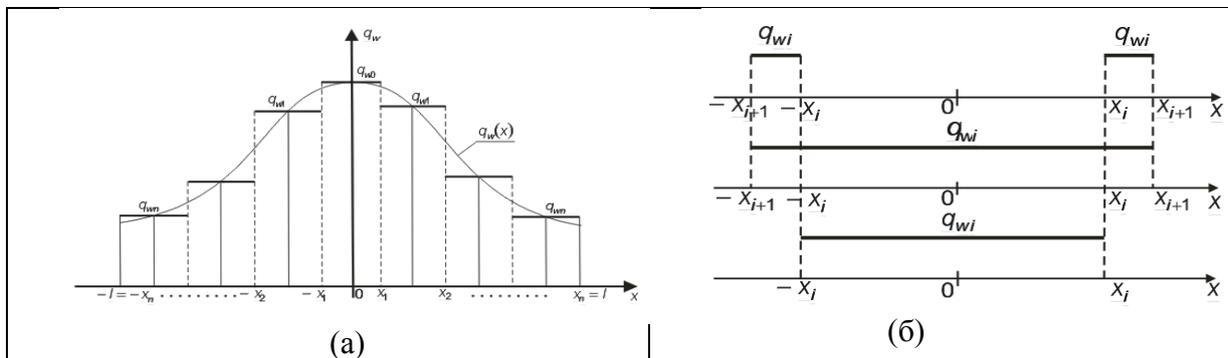


Рис. 2. Разбиение границы сопряжения на участки с постоянными значениями плотности тепловых потоков: (а) – способ разбиения; (б) – способ наложения.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 12-01-33095, 14-01-00479 и Грантов президента РФ НШ-1387.2014.8, МД-3297.2013.8

Список литературы

1. *Формалев В.Ф.* Обзор. Тепломассоперенос в анизотропных телах // ТВТ. 2001. Т. 39. №5. С. 810.
2. *Кузнецова Е.Л., Колесник С.А.* Моделирование сопряженного теплопереноса в условиях аэрогазодинамического нагрева анизотропных затупленных носовых частей гиперзвуковых летательных аппаратов // Известия вузов. Авиационная техника. №3.2012г. С.40-45
3. *Формалев В.Ф., Кузнецова Е.Л.* Исследование теплопереноса в нелинейном анизотропном пространстве в условиях импульсного нагрева. //Механика композиционных материалов и конструкций. №1.2014г.
4. *Горшков А.Г., Медведский А.Л., Рабинский Л.Н., Тарлаковский Д.В.* Волны в сплошных средах – М.: Физматлит, 2004 г.
5. *Формалев В.Ф., Кузнецова Е.Л.* Тепломассоперенос в анизотропных телах при аэрогазодинамическом нагреве. – М.: МАИ-ПРИНТ. 2011. 300с.

05.13.18

¹Т.С. Кумыков, ^{2,3}Р.И. Паровик¹ФГБНУ «Институт прикладной математики и автоматизации», г. Нальчик, macist20@mail.ru²ФГБОУ ВПО «КамГУ им. Витуса Беринга»,

г. Петропавловск-Камчатский, romanparovik@gmail.com

³ФГБУН Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ВО ФРАКТАЛЬНЫХ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ**

В работе предложена новая модель образования аэрозольных частиц в грозовых облаках. Модель учитывает фрактальные свойства грозовых облаков, а ее решение было получено с помощью численных методов дробного исчисления. Построены новые профили расчетных кривых, которые согласуются с классической теорией коалесценции (теории Лифшица-Слезова-Вагнера).

Ключевые слова: коалесценция, теория Лифшица-Слезова-Вагнера, фрактальная размерность, математическая модель.

Введение. Образование аэрозольных частиц является важным процессом в формировании грозового электричества и изучается в рамках теории Лифшица-Слезова-Вагнера (ЛСВ) [1,2]. Этот процесс принято называть коалесценцией. Согласно теории ЛСВ распределение аэрозолей по размерам зависит от времени по степенному закону: $R(t) \propto t^{1/3}$ в случае диффузионного механизма образования [1], а также по закону: $R(t) \propto t^{1/2}$ в случае реакции на поверхности аэрозоля [2].

Известно, что степенные законы хорошо описывают фрактальные объекты и процессы [3]. В работе [4] авторами с помощью экспериментальных данных была найдена фрактальная размерность градовых облаков, которая имеет значение $d_f = 1,36 \pm 0,1$. Поэтому можно сделать вывод о том, что грозовые облака обладают фрактальными свойствами, которые можно описать с помощью математического аппарата дробного исчисления [5].

Постановка задачи. Рассмотрим схему коалесценции ЛСВ, когда выпадающие зерна (аэрозоли) неподвижны и растут за счет диффузии из окружающего раствора [6]. При определении концентрации по объемному количеству вещества, растворенному в единице объема раствора, диффузионный поток определяется по формуле

$$q(r,t) = \lambda \frac{\partial u(r,t)}{\partial r}, \quad (1)$$

где $\lambda > 0$ - коэффициент диффузии растворенного вещества, $u(r,t)$ - концентрация насыщенного раствора, r - радиус аэрозоля, $t > 0$ - время.

Диффузионный поток у поверхности аэрозоля ($r = R$) совпадает со скоростью изменения его радиуса:

$$\frac{dR(t)}{dt} = \lambda \frac{\partial u(r,t)}{\partial r} \Big|_{r=R}. \quad (2)$$

В работе [6] с учетом критического радиуса $R_c(t)$ и соотношения (2), получено уравнение:

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{R_c^3(0)}{R(t)} \left(\frac{1}{R_c(t)} - \frac{1}{R(t)} \right), \quad (3)$$

где $R_c^3(0)$ - значение критического радиуса, отвечающего за начало стадии коалесценции. В формуле (3) при значениях $R(t) > R_c(t)$ аэрозоль растет, а при $R(t) < R_c(t)$ - растворяется.

В случае фрактальной структуры грозового облака диффузионный поток (1) можно обобщить по формуле [5]:

$$q(r,t) = \lambda \partial_{0r}^{\alpha} u(r,\tau), \quad 0 < \alpha < 1, \quad (4)$$

где $\partial_{0r}^{\alpha} u(r,\tau) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^{\tau} \frac{u'_r(r,\tau) d\tau}{(\tau-t)^{\alpha}}$ - оператор дробного дифференцирования Герасимова-

Капуто порядка α [7]; $\Gamma(x)$ - гамма-функция Эйлера.

С учетом (4), в работе [8] было предложено обобщение уравнения (3), которое можно записать в виде:

$$\partial_{0r}^{\alpha} R(\tau) = \frac{R_c^3(0)}{R(t)R_c(t)} \left(1 - \frac{R_c(t)}{R(t)} \right), \quad (5)$$

Уравнение (5) решим с помощью явной конечно-разностной схемы. Для этого введем равномерную сетку с постоянным шагом τ на временном отрезке от 0 до T , где T - произвольное целое положительное число. Тогда справедлива следующая аппроксимация $R(t) \square R(t_j) = R_j$, где $t_j = j\tau$, $j=0,1,\dots,T-1$. Следуя работе [9], приближенная формула для дробной производной Герасимова -Капуто записывается в виде:

$$\partial_{0r}^{\alpha} R(\tau) \square B \sum_{k=0}^{j-1} b_k (R_{j-k+1} - R_{j-k}), \quad (6)$$

где $B = \frac{\tau^{-\alpha}}{\Gamma(2-\alpha)}$, $b_k = (k+1)^{1-\alpha} - k^{1-\alpha}$. Учитывая (6) из формулы (5), получим

$$R_{j+1} = R_j - \sum_{k=0}^{j-1} b_k (R_{j-k+1} - R_{j-k}) + \frac{R_c^3}{BR_{cj}R_j} \left(1 - \frac{R_{cj}}{R_j} \right). \quad (7)$$

Формула (7) представляет собой численное решение уравнения образования-растворения аэрозоля в обобщенной теории коалесценции ЛСВ во фрактальном грозовом облаке.

Обсуждение результатов моделирования. Численное моделирование проводилось с помощью программы Maple [10], а значения параметров в модели выбирались согласно работе [11]. На рис. 1 приведены расчетные кривые, найденные по формуле (7), которые описывают изменения радиуса аэрозоля в зависимости от значений параметра $\alpha \in (0,1)$ в рамках обобщенной теории Лифшица-Слезова-Вагнера.

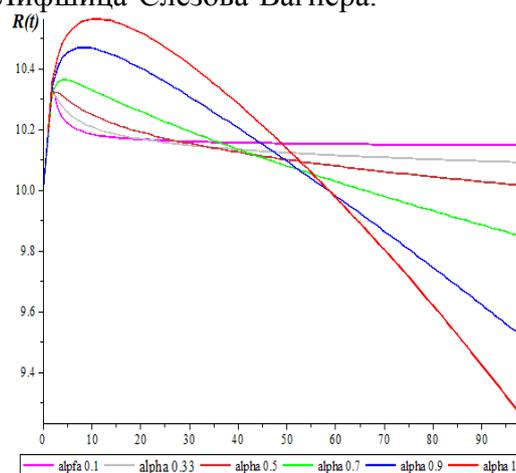


Рис.1- Расчетные кривые изменения радиуса аэрозоля, построенные согласно решению (7) обобщенной модели ЛСВ в зависимости от значений параметра α .

Заметим, что при значении параметра $\alpha = 1$ обобщенная теория ЛСВ переходит в классическую теорию ЛСВ (красная линия на рис.1). В общем случае из рис.1 видно, что при уменьшении значений параметра α происходит быстрый рост аэрозоля (теория Лифшица-Слезова), а его растворение (теория Вагнера) наоборот замедляется. Этот эффект связан с

фрактальными свойствами среды, а именно со степенным законом распределения аэрозолей по размерам в зависимости от времени [4] и эффектами «памяти» в среде.

Расчетные кривые из рис.1, в некоторой степени, похожи на расчетные кривые изменения радиуса кристаллов в рамках теории ЛСВ (рис.2а), а особенно на расчетные кривые в рамках теории «сообщающихся соседей» (рис.2б), представленные в работе [11].

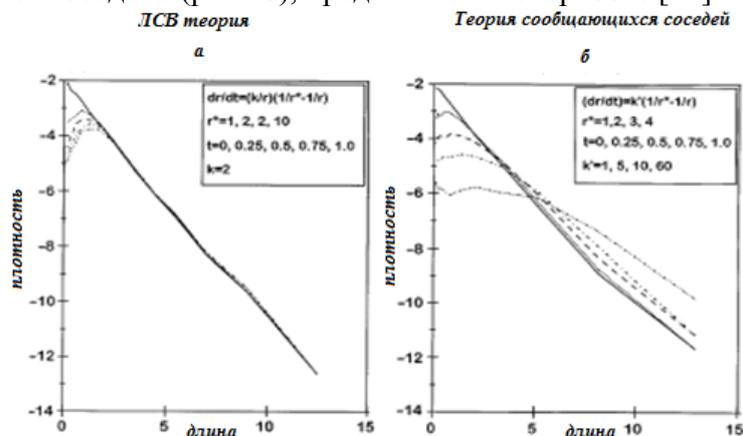


Рис. 2. – Расчетные кривые изменения радиуса кристаллов, представленные в работе [11]: а – классическая теория ЛСВ; б - теория «сообщающихся соседей»

Действительно в теории «сообщающихся соседей» и в обобщенной теории ЛСВ учитываются эффекты нелокальности по времени или эффекты «памяти», поэтому расчетные кривые ведут себя одинаково. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что имеет смысл продолжить дальнейшее развитие и изучение свойств обобщенной теории ЛСВ.

Работа выполнена в рамках проекта №12-И-ОФН-16 «Фундаментальные проблемы воздействия мощными радиоволнами на атмосферу и плазму Земли» и 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. Лифшиц И.М., Слезов В.В. О кинетике диффузионного распада пересыщенных твердых растворов // ЖЭТФ. 1958. Т. 35 С. 479-492.
2. Wagner C. Z. Theorie der alterung von niederschlagen durch umlcsen (ostwald-reifung) // Z. Elektrochem. 1961. Bd. 65. p. 581–611.
3. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991, 254 с.
4. Пьетронеро Л., Тозатти Э. Фракталы в физике. Труды VI Международного симпозиума по фракталам в физике (МЦТФ, Триест, Италия 9-12 июля 1985) М.: Мир, 1988. 672 с.
5. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение. М: Физматлит, 2003. 272 с.
6. Лифшиц Е.М., Пятаевский Л.П. Физическая кинетика. М.: Наука, 1979. 527 с.
7. Нахушев А.М. Нагруженные уравнения и их применение. М: Наука. 2012. 232 с.
8. Кумыков Т.С. Применение дробного исчисления в теории Лифшица-Слезова // Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых «Современные вопросы математической физики, математической биологии и информатики», г. Нальчик, 18-19 июня 2014. с.72-75.
9. Sweilam N.H., Khader M.M., Mahdy A.M. Numerical studies for solving fractional-order logistic equation // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2012. V. 78. №. 8. p. 1199-1210.
10. Дьяконов В.П. Maple 9.5/10 в математике, физике и образовании. М. : СОЛОН-Пресс, 2006. 720 с.
11. Michael D.H. Origin of Anorthosite by Textural Coarsening: Quantitative Measurements of a Natural Sequence of Textural Development // Journal of Petrology. 1998, V. 39. № 7. p. 1307-1323.

05.13.06

В.А. Курочкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок,
Томск, tachyon@tpu.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ БЮДЖЕТНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В работе представлены рекомендации и примеры реализации распределенной системы управления на микроконтроллерах или отладочных платах широкого потребления. Предложено решение по абстрагированию датчиков, исполнительных механизмов и других элементов системы управления.

Ключевые слова: *автоматизация, система управления, абстрагирование.*

Структура распределенной системы управления (в переводе с английского Distributed Control System, сокращенно DCS) в наиболее классическом виде состоит из трех уровней. Нижний уровень ввода/вывода содержит в себе датчики, исполнительные механизмы и прочее. Средний уровень распределенной системы управления состоит из контроллеров. Их задача обработать полученные данные, выдать управляющее воздействие, передать данные на верхний уровень. На верхнем уровне расположены серверы баз данных и операторские станции, задача которых предоставить человеко-машинный интерфейс оператору и осуществлять обмен с сервером и контроллером. [1]

Создавая прототип установки или модель целого производства необходимо реализовать и все уровни системы управления. Часто финансирование разработки сильно ограничено, либо вообще отсутствует, и “городить” DCS на промышленных контроллерах и датчиках, да еще и с использованием дорогостоящего программного обеспечения, глупо, и порой невозможно.

В ходе создания подобных систем удалось добиться низкой стоимости реализации, простоты реализации и удобства использования. Начнем по порядку со слоя датчиков и исполнительных механизмов. Для управления исполнительными механизмами обычно достаточно дискретных сигналов и сигналов ШИМ. Что касается датчиков, то в силу их специфичности, далеко не все датчики возможно заменить дешевыми аналогами, но при выборе, во избежание дополнительных преобразователей, стоит ориентироваться на наличие выходного сигнала в виде напряжения или токовой петли. Среди датчиков широкого потребления, наиболее оптимальным будет использование датчиков поддерживающих 1-wire интерфейс, преимуществом которого будет возможность подключения нескольких датчиков на одной двухпроводной шине и простота программной реализации данного протокола. Для среднего слоя наиболее функциональным решением будет использование микроконтроллеров (далее контроллеров) с наличием АЦП и ЦАП (например STM, ATmega, PIC и подобных[2]) или отладочных, на их основе, плат (например платформа Arduino [3]). Для связи контроллеров между собой и с верхним уровнем предлагается, в силу значительного запаса по длине линии и возможности подключать несколько устройств на одну шину, интерфейс RS485. Для верхнего уровня предлагается использовать микрокомпьютер на ядре ARM, например Raspberry Pi[4], Friendly ARM (рис. 1).

Для организации межуровневой связи предлагается простой в реализации протокол, работающий по принципу ведущий/ведомый.



Рис. 1 – Уровни бюджетной распределенной системы управления

Ведущим устройством выступает микрокомпьютер. Ведомыми устройствами выступают не контроллеры среднего уровня, а виртуальные адресуемые единицы, это датчики, исполнительные механизмы и программно реализуемые регуляторы (например ПИ, ПИД и т.п.), а так же различные функции и процедуры (рис. 2), т.е. абстрагируется нижний уровень системы. Управляющую команду ведущий отправляет на шину RS-485, в формате: «адрес,действие,аргументы» (запятые, в нашем случае, являются разделителем).

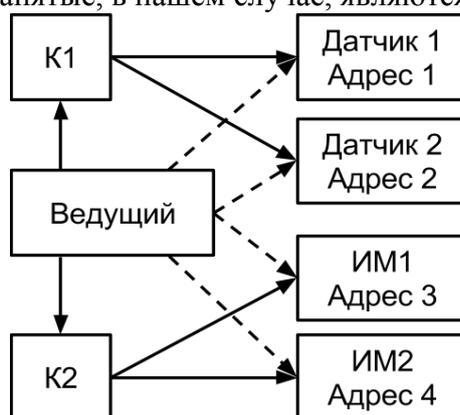


Рис. 2 – Наглядная схема сквозной адресации

Контроллеры K1 и K2 (рис. 2) принимают посланную команду, и если посланный адрес есть в списках контроллера, то запускается, соответствующая этому адресу, подпрограмма. Подпрограмме передаются «действие» и «аргументы». Например, необходимо запустить исполнительный механизм ИМ1 (рис. 2), пусть это будет двигатель с адресом drive1, на 2300 об/мин, тогда передадим команду “drive1,start,2300”, а для остановки “drive1,stop”. Таким образом, программа управления для верхнего уровня будет состоять из очень простых и удобных для восприятия команд. Программы для контроллеров, в большинстве случаев, достаточно легко реализуемы.

Отдельно стоит остановиться на применении интерфейса RS-485. Если для промышленных контроллеров это стандарт де-факто, то для микрокомпьютеров и микроконтроллеров это редкость. Для использования RS-485, в основном достаточно два типа преобразователя, это USB/RS-485 и TTL/RS-485, стоимость которых начинается от 2\$. Преобразователь USB/RS485 удобно использовать в микрокомпьютере (ведущий), т.к. он определяется в системе как обычный последовательный порт, и для отправки на него команды, в операционной системе (ОС) на базе ядра Linux, достаточно набрать в консоли «printf ‘drive1,star,2300’ > /dev/USBtty0», где USBtty0 – это имя файла нашего преобразователя, либо использовать стандартные библиотеки для работы с UART в одной из

сред программирования. А преобразователи TTL/RS-485 подключаются к контроллерам (рис. 3).

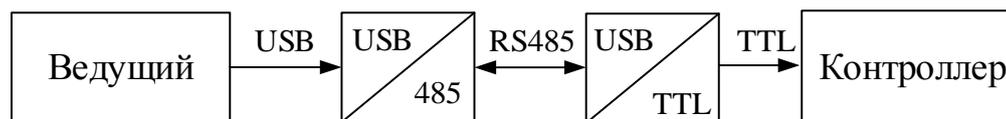


Рис. 3 – Функциональная схема межуровневой связи

Эти преобразователи обычно выполнены на микросхеме MAX485 [5], для переключения которой в режим приема или передачи необходим дополнительный управляющий сигнал.

Стандартные библиотеки для работы с UART, при таком подключении, без доработки, работать не смогут. Это ограничение возможно обойти, для этого непосредственно перед командой отправки информации по UART, переключить преобразователь на передачу. Но переключить преобразователь обратно на прием, сразу после выполнения команды для отправки, не получится, т.к. данные помещаются в буфер fifo, а сама отправка происходит в фоновом режиме. Если есть прерывания по опустошению буфера fifo, то по нему можно произвести переключение режима, либо пойти не очень правильным путем, и после помещения данных в буфер, сделать секундную (зависит от величины передаваемой информации) задержку, а потом переключить режим. Такое решение будет работать, но все же лучше изменить сами библиотеки.

Микрокомпьютер обычно имеет либо выход для монитора, либо собственный дисплей и может выступать в качестве операторской ЭВМ. При подключении к локальной сети, управление микрокомпьютером и всей системой может быть произведено следующими способами:

1. Подключение с трансляцией всего экрана на операторскую ЭВМ (протоколы RDP, VNC, NX)
2. Подключение через собственную клиент-серверную программу
3. Подключение по протоколу SSH, при этом управление можно осуществлять:
 - а) через консоль (в текстовом режиме, как в примере)
 - б) через графическое приложение (через настройку X11-forwarding)

Наиболее простым и удобным является третий способ, как в графическом, так и текстовом режимах. В текстовом режиме, мы можем как вручную, так и с помощью скриптов или программ управлять системой. Для удобства и наглядности можно написать и запустить графическое приложение, которое откроется в новом окне как локальное приложение. При использовании ОС Windows, необходимо установить x-server (например xming) и включить в настройках терминала Putty поддержку X11-forwarding. Графическое приложение, в силу простоты и отсутствия необходимости в компиляции, рекомендуется писать на языке python. Если в такой программе написанной на языке python отправка команд происходит через файл устройства (как в примере, через printf), то ее можно запустить непосредственно на ЭВМ оператора, добавив перед printf, ssh адрес микрокомпьютера» (только если на операторской ЭВМ unix-совместимая ОС). При этом предварительно необходимо настроить авторизацию без пароля (по ключу). Такое решение будет удобно, если необходимо управлять несколькими системами.

Список литературы

1. Распределенные системы управления [Электронный ресурс]: AutoWorks [Сайт]. URL: <http://autoworks.com.ua/category/verxnie-urovni-asu-tp/> (дата обращения 04.10.14)
2. Предко М. Руководство по микроконтроллерам. Том I. Москва: Постмаркет, 2001. - 416 с. М. Предко Руководство по микроконтроллерам. Том I.
3. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino БХВ-Петербург, 2015, «Электроника»
4. Петин В.А. Микрокомпьютеры Raspberry Pi : практическое руководство БХВ-Петербург, 2015, «Электроника»
5. Interface. MAX485. [Электронный ресурс]: Техническое описание // Maxim integrated:[Сайт]. URL: <http://www.maximintegrated.com> (дата обращения 06.08.14)

05.13.11

В.В. Ланин

Пермский филиал национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», факультет бизнес-информатики, кафедра информационных технологий в бизнесе, Пермь, vlanin@live.com

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ РАБОТЫ АНАЛИТИКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В статье описан подход к реализации системы, автоматизирующей обработку проектной документации аналитиком при анализе предметной области и проектировании информационной системы. Анализ документации осуществляется на основе обработки естественного языка, специально разработанного предметно-ориентированного языка и онтологических ресурсов. В результате работы системы выделяются связи между документами и производится семантическая индексация документов, на основе которой аналитик сможет легко ориентироваться в документах, быстро найти необходимые разделы документов, проверить непротиворечивость и полноту требований.

Ключевые слова: *проектная документация, разработка информационных систем, обработка естественного языка.*

Введение

Техническая документация играет важную роль на протяжении всего жизненного цикла информационной системы (ИС). Особое значение документация имеет на стадии проектирования, т.к. в ней описываются требуемые свойства будущей системы, и чем эффективнее будет управление требованиями, тем выше будет вероятность успешного завершения проекта. В документации требования чаще всего представлены на естественном языке, и в задачу аналитика входит их формализация. В рамках проекта предлагается разработка инструментального средства, автоматизирующего работу аналитика по анализу проектной документации.

Системы анализа документации при проектировании ИС

Поддержка этапа проектирования ИС включает целый ряд задач, традиционно наибольшее внимание уделяется задаче управления требованиями. Проблематику управления требованиями можно рассматривать с разных ракурсов, с точки зрения менеджмента и подходов, а также с точки зрения применения инструментов и средств для упрощения и совершенствования работы с требованиями. Значительное количество исследований, ведущихся в данной области, направлены на анализ проектной и технической документации. Из российских исследований можно отметить А.В. Заболееву-Зотову [1] и Ю.А. Орлову [2], в работах которых предлагается подход к анализу технического задания на основе специально разработанной нечеткой атрибутивной грамматики, позволяющей отобразить содержимое технического задания. Среди зарубежных исследователей можно выделить исследовательскую группу университета Concordia [3]. В соответствии с их подходом для трансформации требований, выраженных на естественном языке, строятся концептуальные модели на специально разработанном языке. Исследованием и разработкой подходов и инструментов к решению вышеуказанных проблем занимаются также крупные компании, на рынке присутствуют продукты RequisitePro, DOORS, CaliberRM, служащие для поддержки процесса документирования требований в крупных проектах. Однако ни одним из этих решений не поддерживается автоматический анализ проектной документации.

Модель документа и многоаспектная онтология электронных документов

Прежде всего для анализа документации необходимо определить модель документа. Согласно предлагаемой модели электронный документ может быть представлен четверкой вида:

$$d = (S(F, R), C, o, M).$$

Здесь $S(F, R)$ – ориентированный гиперграф, вершинам которого сопоставлены элементы множества F (множество F – это множество фрагментов документа, а R – это множество ребер графа, соответствующее связям между фрагментами); элементы множества C представляют информационное содержание документа (его контент); o – онтология документа, M – отображение множества F на концепты онтологии o . Учитывая специфику решаемых в данной работе задач, конкретизируем понятие *онтологии*:

$$o = (C, R, A),$$

где C – множество *понятий (концептов)* онтологии, R – множество *отношений* между концептами, A – множество *аксиом*, заданных на онтологии. Концептами могут быть как классы, так и экземпляры этих классов, а аксиомы используются для задания ограничений и правил, которые не могут быть выражены через отношения.

Для описания метаданных документы предлагается использовать многоаспектную онтологию электронных документов [4], которая представляет консолидированные знания об их структуре и содержании (формат, тип и структура). В нее включены понятия, относящиеся ко всем трём выделенным аспектам представления информации о документах, каждый из которых описывается онтологией, однако понятия, относящиеся к различным аспектам, связаны между собой. Таким образом, создаётся единая онтология электронных документов. Ресурс поддерживает возможность расширения и уточнения для настройки на решение задач, возникающих при обработке документов в различных ИС в течение всего их жизненного цикла. К настоящему моменту в онтологии описываются стандарты, законодательные акты, связанные с разработкой и функционированием ИС и техническое задание.

Предметно ориентированный язык описания проектной документации

Для описания документации, применяемой в процессе проектирования ИС, был разработан визуальный предметно-ориентированный язык. Предметно-ориентированный язык (Domain-Specific Language, DSL) – это язык моделирования, предназначенный для решения определенного класса задач в конкретной предметной области. В отличие от языков моделирования общего назначения, DSL более выразителен, прост в применении и понятен различным категориям специалистов, поскольку язык оперирует привычными для них терминами предметной области. Для поддержки процесса разработки и сопровождения DSL используется специальный вид программного обеспечения, получивший название DSM-платформа. Система MetaLanguage – DSM-платформа, предназначенная для создания визуальных предметно-ориентированных языков, построения моделей с использованием этих языков и преобразования созданных моделей в иные текстовые и графические нотации [4].

Поскольку при описании проектных документов важно не только определить их структуру, но и задать связи между ними, то разработаем двухуровневый предметно-ориентированный язык описания документов, используемых при проектировании ИС. Первый уровень языка предназначен для описания всего множества документов и взаимосвязи между отдельными документами (рис. 1), а второй – для описания структуры конкретного документа.

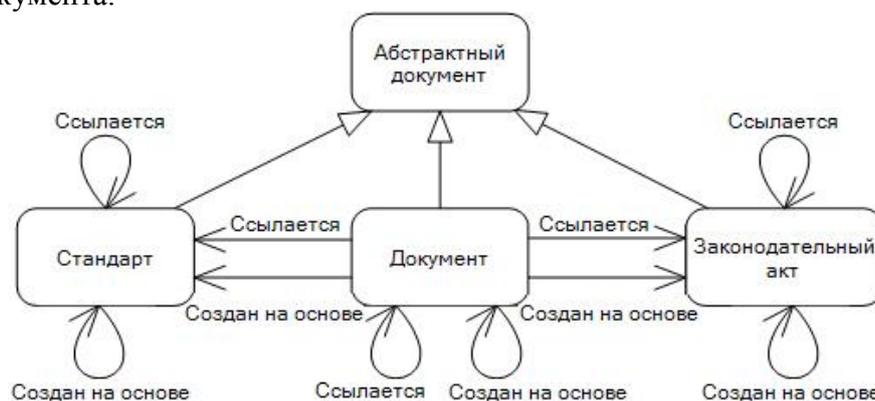


Рис. 1. Метамодель языка описания связей между документами Архитектура системы

Основные компоненты системы представлены на рис. 2. Исходные документы хранятся в *репозитории документов*, поддерживается работа с форматами OpenXML, ODF, HTML и PDF. В *репозитории моделей* хранится описание типов документов на разработанном предметно-ориентированном языке. Документы, проиндексированные понятиями предметной и многоаспектной онтологиями помещаются *хранилище семантических индексов*.



Рис. 2. Репозитории и программные компоненты системы

Заключение

В настоящий момент реализован прототип системы на платформе Java с использованием библиотек платформы GATE [7], онтологические ресурсы разрабатываются в системе Protege 4.2. Проводятся работы по наполнению базы лексико-семантических шаблонов на языке JARE и уточнение моделей описания документов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 14-07-31273-мол_a и Научного фонда НИУ ВШЭ (проект № 14-09-0228).

Список литературы

1. *Заболеева-Зотова А.В.* Автоматизация процедур семантического анализа текста технического задания // Известия ВолгГТУ. Сер. «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: межвуз. сб. науч. ст. / 2007. Вып. 2 №2. С.39-42.
2. *Орлова Ю.А.* Методика анализа текста технического задания // Информатика, вычислительная техника и управление // Известия ТулГУ. Сер. «Техническиенауки»: межвуз. сб. науч. ст. / 2011. Вып. 3. С.213-220.
3. *Zeng Y.* Recursive Object Model, Modelling of linguistic information in engineering design. Computers in Industry 59. 2008. pp.612-625.
4. *Ланин В.В., Лядова Л.Н.* Онтология электронных документов как основа для извлечения знаний о предметной области при ее моделировании // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Знания-Онтологии-Теории». Новосибирск, 2013, Т.1, с. 245-251.
5. *Замятина Е.Б., Лядова Л.Н., Сухов А.О.* Мультиязыковое моделирование с использованием DSM-платформы MetaLanguage // Информатизация и связь. – 2013. – № 5. – С. 11-14.
6. *Агалакова Е.З., Ланин В.В.* Предметно-ориентированный язык описания структуры и содержания электронных документов // Технологии разработки информационных систем ТРИС-2014: сборник статей международной научно-практической конференции. – Таганрог: Издательство ЮФУ, 2014. – С. 70-75.
7. *Cunningham H., Maynard D., Bontcheva K.* Text Processing with GATE. – Gateway Press CA, 2011.

05.17.01

С.В. Лановецкий

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, lsv98@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА МАРГАНЦЕВОГО РАСТВОРА НА РАЗМЕР ЧАСТИЦ ДИОКСИДА МАРГАНЦА

Исследован процесс получения высокодисперсных частиц MnO_2 из раствора сульфата марганца. Установлено влияние состава раствора электролита, плотности тока, времени процесса и материала электродов на размер частиц диоксида марганца и выход готового продукта.

Ключевые слова: *сульфат марганца, диоксид марганца, электролиз.*

Диоксид марганца находит широкое применение в химической промышленности для получения перманганата калия и солей марганца, в качестве эффективного адсорбента для изготовления промышленных противогозов, как низкотемпературный катализатор в некоторых химических процессах, в лакокрасочной промышленности в качестве пигмента и сиккатива, в металлургии в качестве окислителя в гидрометаллургии цинка и меди, при выплавке стали, в электротехнической промышленности в производстве сухих гальванических элементов, в стекловарении для уничтожения бурого и зеленого оттенков при изготовлении фарфора, в производстве песчано-цементных, бетонных, керамических изделий, искусственного камня, для объемного окрашивания в производствах силикатного кирпича, тротуарной плитки, в животноводстве в качестве кормовой добавки [1].

В последнее время все большим спросом начинают пользоваться высокодисперсные порошки диоксида марганца, которые благодаря очень развитой удельной поверхности и малому размеру частиц позволяют существенно расширить области использования высокодисперсного продукта.

MnO_2 может быть получен химическим, термическим, электролитическим и механохимическим способами [2-8]. Наиболее управляемым с точки зрения получения частиц с заданными характеристиками, является электролитический способ. Управляя составом электролита, плотностью тока и продолжительностью процесса можно регулировать размер и форму синтезируемых частиц электролитического диоксида марганца.

Целью представленной работы явилось определение влияния основных параметров электролиза раствора сульфата марганца на размер частиц диоксида марганца и выход готового продукта.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для получения раствора электролита использовали пятиводный сульфат марганца марки Ч и 93%-ную серную кислоту марки Ч. Массовая концентрация сульфата марганца в электролите составляла 250-350 г/л, серной кислоты – 120-200 г/л.

Установка для электролиза представляет собой единую емкость с вставленной внутрь тканевой диафрагмой. Материал корпуса электролизера изготовлен из органического стекла. В качестве электродов использовались пластинки из нержавеющей стали марки 03X17H14M3 и свинцовые электроды марки С-1.

Анализ фазового состава исследуемых порошков проводили на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 фирмы «Shimadzu». Гранулометрические характеристики порошков определяли на лазерном анализаторе частиц «Microsizer – 201С».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Первую серию экспериментов проводили на электродах из нержавеющей стали. В процессе исследований оценивали влияние плотности тока и продолжительности процесса

на размер формирующихся частиц и выход продукта. Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Анализ табл. 1 показал, что при 2-х часовой продолжительности процесса наблюдается максимум по выходу продукта (13,72%) при значении плотности тока – 11,10 А/дм². Однако минимальный размер частиц диоксида марганца формирующихся на аноде был достигнут при плотности тока – 8,33 А/дм². В этой связи дальнейшие исследования проводились именно при этой плотности тока.

Таблица 1 – Влияние плотности тока и длительности электролиза на средний диаметр частиц MnO₂ (d_{cp}) и выход продукта (η)

Показатели	Плотность тока, А/дм ²					Длительность электролиза, ч			
	2,78	5,56	8,33	11,10	13,89	2	3	4	5
d_{cp} , мкм	27,7	9,92	6,22	8,08	6,43	6,22	5,44	3,52	9,36
η , %	2,63	6,19	11,66	13,72	8,95	11,66	18,47	34,76	30,07

Как показали представленные результаты, увеличение продолжительности электролиза до 4 часов позволило в 1,5 раза уменьшить размер частиц и практически в 3 раза увеличить выход продукта. Дальнейшее увеличение времени электролиза нецелесообразно, так как приводит к агломерации синтезируемого диоксида марганца и некоторому уменьшению выхода синтезируемого продукта, снимаемого с поверхности электрода.

Вторая серия экспериментов проводилась на свинцовых электродах. Аналогично первой серии экспериментов оценивали влияние плотности тока и продолжительности процесса на размер частиц и выход готового продукта. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Анализ результатов, представленных в таблице, показал, что при 2-х часовой продолжительности процесса электролиза раствора MnSO₄ на свинцовых электродах, увеличение плотности тока способствует значительному росту выхода продукта и снижению среднего диаметра частиц диоксида марганца. По сравнению с электролизом раствора сульфата марганца на электродах из нержавеющей стали, выход продукта при одинаковой плотности тока (примерно 13 А/дм²) вырос в 4 раза, а средний размер частиц диоксида марганца практически во всех экспериментах, проводимых на свинцовых электродах, не превышал 2 мкм.

Таблица 2 – Влияние плотности тока и длительности электролиза на средний диаметр частиц MnO₂ (d_{cp}) и выход продукта (η)

Показатели	Плотность тока, А/дм ²					Длительность электролиза, ч			
	4,35	8,70	13,05	17,40	21,75	2	3	4	5
d_{cp} , мкм	2,85	1,94	1,93	1,69	1,58	1,58	1,49	1,72	2,85
η , %	22,51	29,60	36,48	42,08	47,26	47,26	47,26	64,90	64,55

Размер зерен формирующихся частиц диоксида марганца в значительной степени определяется перенапряжением при осаждении, так как скорость нуклеации быстрее возрастает с перенапряжением, чем скорость роста кристалла [9]. Перенапряжение, в свою очередь, увеличивается с ростом плотности тока. Повышение плотности тока в большинстве случаев способствует образованию более мелкозернистых осадков [10].

Увеличение длительности процесса способствует существенному росту выхода продукта и незначительно влияет на размер частиц. Оптимальным временем процесса следует считать 4 часа, так как именно при данной продолжительности процесса удалось достичь максимального выхода целевого продукта при среднем размере частиц диоксида марганца не превышающем 2 мкм.

С целью определения эффективного состава электролита в третьей серии экспериментов оценивали влияние концентрации раствора серной кислоты и сульфата марганца на средний

диаметр частиц диоксида марганца и выход продукта. Концентрацию серной кислоты в электролите изменяли в диапазоне 120-200г/л, концентрацию сульфата марганца в диапазоне 250-350г/л. Результаты экспериментов представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3 – Влияние концентрации серной кислоты в электролите на средний диаметр частиц (D_{cp}) и выход продукта (η)

Показатели	Концентрация серной кислоты, г/л			
	120	150	170	200
D, мкм	1,53	1,50	1,58	1,50
Выход, %	25,09	34,96	47,26	27,93

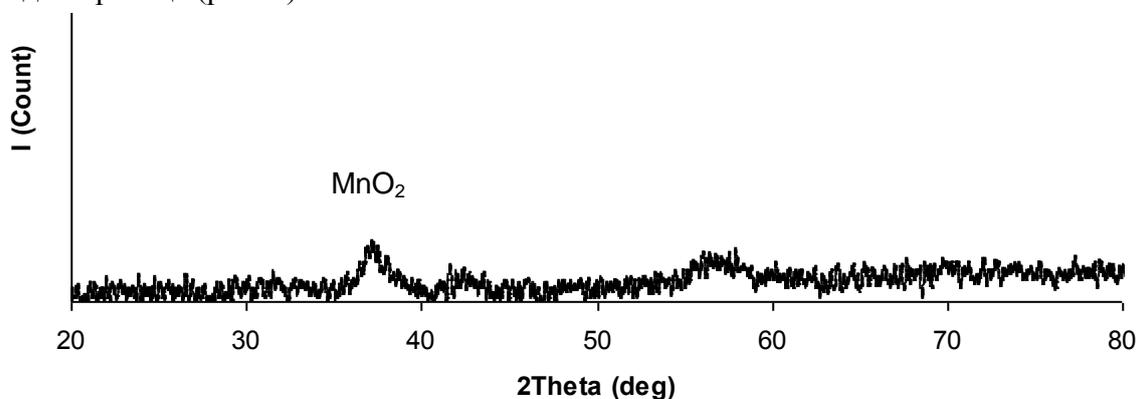
Увеличение концентрации серной кислоты до 170 г/л способствует росту выхода продукта и не сказывается на размере частиц. Дальнейшее увеличение концентрации нежелательно, т.к. выход продукта значительно снижается из-за уменьшения доли сульфата марганца в растворе.

Таблица 4 – Влияние концентрации сульфата марганца в электролите на средний диаметр частиц (D_{cp}) и выход продукта (η)

Показатели	Концентрация сульфата марганца, г/л			
	250	270	300	350
D, мкм	1,60	1,58	1,44	1,46
Выход, %	42,98	47,26	31,54	21,61

Как показали результаты исследований, с ростом концентрации сульфата марганца в растворе выше 270 г/л происходит снижение выхода целевого продукта благодаря ухудшению электропроводных характеристик раствора электролита.

Рентгенофазовый анализ порошков полученных на свинцовых электродах при оптимальных условиях проведения эксперимента подтвердил наличие мелкодисперсного диоксида марганца (рис. 1).



Оценка среднего размера первичных кристаллитов по уширению брегговских рефлексов относительно обычного MnO₂ показала, что диаметр первичных частиц электролитического диоксида марганца колеблется в интервале 17-20нм.

ВЫВОД

Результаты выполненных экспериментов демонстрируют влияние состава раствора электролита, плотности тока, времени процесса и материала электродов, на размер частиц диоксида марганца и выход готового продукта.

Установлены оптимальные параметры процесса электролиза позволяющие получать высокодисперсные порошки электролитического диоксида марганца с заданным гранулометрическим составом.

Список литературы

1. Марганец двуокись. URL: <http://mcd-chemicals.ru/chemicals/descr202/> (дата обращения: 10.11.2014).
2. Лановецкий С.В. Исследование процесса нанесения пленок диоксида марганца на танталовую подложку // Химическая промышленность сегодня. – 2010. - №11. - С. 6-10.
3. Лановецкий С.В., Старостин А.Г., Пойлов В.З. Особенности формирования структуры пленочных покрытий в результате терморазложения растворов нитрата марганца // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. - №4. - С. 125-130.
4. Метод получения оксида марганца высокой чистоты путем пиролиза нитрата марганца при низкой температуре: пат. 1020010113176А KR: МПК C01G 45/02 / *Dong Sung Lee, Kea Seoung Shin, Kang Ho Song, Young Jun.*; опубл. 28.12.2001.
5. Метод получения наноцилиндрического / наностержневого оксида марганца путем использования анодного оксида алюминия образца и прекурсора оксида марганца: пат. 1020070045917 А KR: МПК B82В 3/00 / *Kim, Hae Jin, Lee, Jin Bae*; опубл. 02.05.2007.
6. Получение активного диоксида марганца: пат. 1370744 CN: МПК C01G45/02 / *Wuhan Univ*; опубл. 25.09.2002.
7. Метод производства слоистого (ламинированного) наноконплекса оксида марганца: пат. 2003-201121 JP: МПК C01G 45/02 / *Ryu Sokai, Yo Giyoushiyo, Oi Kenta*; опубл. 15.07.2003.
8. Способ получения диоксида марганца: пат. 2193527 RU: МПК C01G45/02/ *В.В. Патрушев, Ю.С. Кононов, С.В. Останова.* – № 2001109558/12; заявл. 09.04.2001; опубл. 27.11.2002.
9. Гамбург Ю.Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов. – М.: Янус-К, 1997. – 384 с.
10. Томилов А.П. Прикладная электрохимия. – М.: Химия, 1984. – 520 с.

05.16.01

¹С.В. Лекомцев, ²Д.О. Панов, ²М.Ю. Симонов, ¹И.Н. Шардаков¹Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь,²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

СПОСОБЫ ДОСТИЖЕНИЯ НИЖНЕГО БЕСКАРБИДНОГО БЕЙНИТА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ СТАЛЕЙ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований, позволившие для двух марок стали определить температурные режимы, обеспечивающие формирование структуры нижнего бескарбидного бейнита (НБКБ). На основе результатов численного решения задачи нестационарной теплопроводности с использованием полученных экспериментальных результатов определены условия, обеспечивающие возможность получения структуры НБКБ в цилиндрических заготовках различных размеров при остывании на воздухе.

Ключевые слова: *бейнитная структура, дилатометрические и металлографические эксперименты, нестационарная теплопроводность.*

Введение

Проблема получения $\alpha+\gamma$ структуры в сплавах на основе железа не нова: ещё в 50-е годы прошлого века советский ученый Л.М. Певзнер отмечал повышение «конструктивной прочности сталей при образовании нижнего бейнита, особенно в сталях, содержащих кремний, когда в результате превращения образуется смесь α -фазы и аустенита, обогащенного углеродом, без выделения карбидов» [1].

В 80-х гг. прошлого века за рубежом этой проблемой занимались Боярски и Боулд [2]. В России проблемой получения структуры бескарбидного бейнита и повышения за счёт этого свойств сталей занималась группа учёных Института физики металлов Уральского отделения Академии наук: академики В.Д. Садовский и В.М. Счастливцев, Ю.М. и А.Ю. Калетины [3]. В настоящее время эту проблему довольно успешно пытается решить группа под руководством Габальеро [4–6].

Однако до настоящего момента не сформулированы принципиальные положения формирования состава сплавов, обеспечивающие получение $\alpha+\gamma$ структуры, особенно при замедленном охлаждении деталей и заготовок больших сечений, а также не установлены факторы, позволяющие эффективно управлять стабильностью получаемого остаточного аустенита, и, как следствие — уровнем трещиностойкости сплавов с подобной структурой.

В работе [7] на базе анализа литературных и авторских данных сформулированы принципы, позволяющие получить структуру нижнего бескарбидного бейнита (НБКБ) в результате медленного непрерывного охлаждения заготовок и деталей достаточно большого сечения.

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований температурных режимов, обеспечивающие возможность получения структуры НБКБ в сплавах для сталей двух составов. На основе результатов численных решений задач нестационарной теплопроводности с использованием полученных экспериментальных результатов были определены условия, обеспечивающие возможность получения структуры НБКБ в цилиндрических заготовках различных размеров при остывании на воздухе.

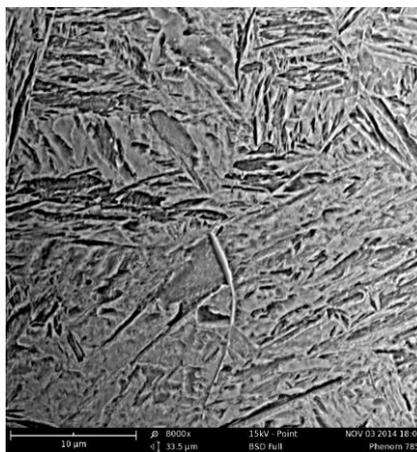
1. Экспериментальные исследования

Экспериментальная проверка сформулированных в работе [7] принципов дизайна химического состава сталей для получения в них структуры НБКБ в процессе непрерывного охлаждения осуществлена на основе выплавки из пробных составов. Химический состав полученных экспериментальных плавок приведен в таблице 1.

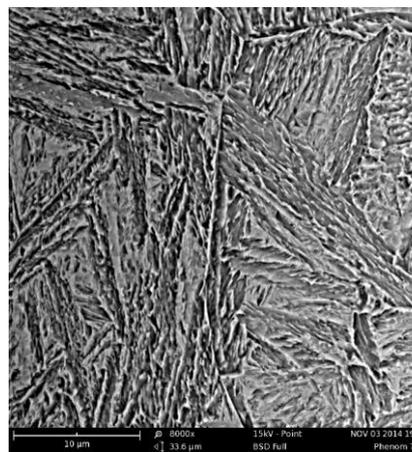
Таблица 1 – Физические свойства материалов

Плавка, № (марка стали)	Содержание элементов						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
25Х3Г3МФС	0.318	1.57	2.38	2.87	0.626	0.378	0.159
25ХН3МФС	0.304	1.61	0.268	1.85	0.501	3.14	0.128

С полученными образцами стали был осуществлен цикл экспериментов, включающих дилатометрические и металлографические исследования. На рисунках 1 и 2 представлены изображения микроструктуры поверхности образцов стали двух марок, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа PHENOM Pro-X. На основе анализа результатов было установлено, что в отличие от стали 25Х3Г3МФС, в которой структуру НБКБ можно получать в широком диапазоне скоростей охлаждения (от 0.3 до 0.03 °С/сек), в стали 25ХН3МФС подобную структуру можно получить при охлаждении в диапазоне от 1.5 до 0.3 °С/сек.

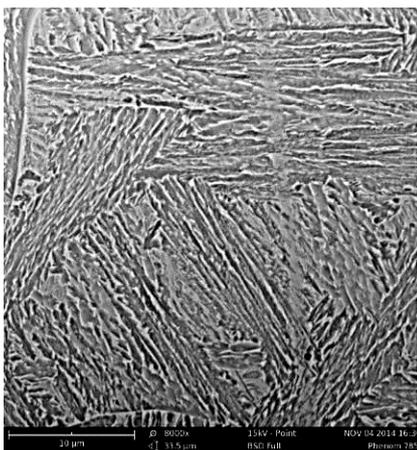


(a)

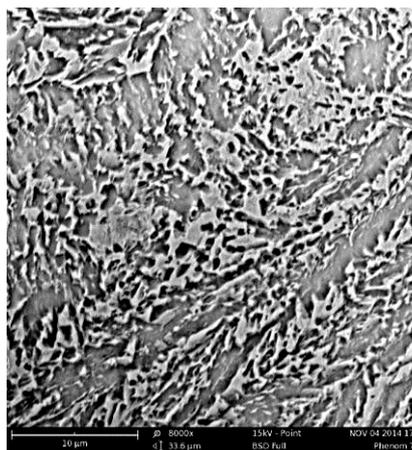


(б)

Рис. 1 – Микроструктура стали 25Х3Г3МФС после охлаждения со скоростью 0.3 °С/сек (a) и 0.03 °С/сек (б)



(a)



(б)

Рис. 2 – Микроструктура стали 25ХН3МФС после охлаждения со скоростью 0.3 °С/сек (a) и 0.05 °С/сек (б)

2. Компьютерное моделирование

Была рассмотрена возможность получения структуры НБКБ в круговых цилиндрических заготовках разного диаметра, выполненных из вышеперечисленных сплавов. Процесс охлаждения заготовки, позволяющий получить наибольшее количество требуемой структуры, характеризуется медленным изменением температуры со скоростями, лежащими в диапазонах, установленных ранее.

2.1. Постановка задачи теплопроводности

Уравнение нестационарной теплопроводности имеет вид

$$\operatorname{div}(K(T)\operatorname{grad}T) = \rho(T)C_v(T)\frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1)$$

где t — время, коэффициент теплопроводности K , плотность ρ и удельная теплоёмкость C_v являются функциями от температуры T .

На боковой поверхности тела S_s , торцах заготовки S_L и S_R задаётся условие конвективного теплообмена с окружающей средой

$$-K(T)\frac{\partial T(\mathbf{x},t)}{\partial n} = \lambda_k(T)[T(\mathbf{x},t) - T_f], \quad \mathbf{x} \in S_k; \quad (2)$$

Здесь T_f — температура окружающей среды, $\lambda_k(T)$ — коэффициенты теплоотдачи на соответствующих поверхностях (k принимает значения s , L или R), зависящие от температуры, n — внешняя нормаль к поверхности.

Из условия симметрии решения задачи относительно вертикальной плоскости S_i , проходящей через ось цилиндра, рассмотрим только симметричную часть. На плоскости S_i задается граничное условие

$$\frac{\partial T(\mathbf{x},t)}{\partial n} = 0, \quad \mathbf{x} \in S_i. \quad (3)$$

Полагается, что в начальный момент времени $t = 0$ заготовка равномерно нагрета до температуры $T = T_0$.

Свойства материала считаются зависящими от температуры в диапазоне от 20 до 1000 °С в соответствии с формулой [8]

$$P(T) = P_0 + P_1T + P_2T^2 + P_3T^3 + P_4T^4, \quad (4)$$

где P_0, P_1, P_2, P_3, P_4 — некоторые коэффициенты, значения которых приведены в таблице 2 для каждой из характеристик материала.

Таблица 2 – Физические свойства материалов

	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4
ρ , кг/м ³	7863	-2.5974×10^{-1}	-1.4041×10^{-4}	-1.9432×10^{-7}	3.5122×10^{-10}
K , Вт/м °К	52.554	-2.3115×10^{-2}	3.5250×10^{-5}	-1.2426×10^{-7}	8.3594×10^{-11}
C_v , Дж/кг °К	476.53	2.7289×10^{-1}	-1.2978×10^{-3}	3.0127×10^{-6}	-1.7620×10^{-9}

Здесь и далее используется усреднённое по поверхности (или плоскости) значение коэффициента теплоотдачи [9]

$$\lambda(T) = \frac{\overline{\operatorname{Nu}(T)} \cdot K(T)}{R_0}, \quad (5)$$

где R_0 — характерный размер, $\overline{\operatorname{Nu}}$ — усреднённое число Нуссельта.

При горизонтальном расположении заготовки её торцы S_L и S_R рассматриваются как вертикальные пластины высотой h . В этом случае $R_0 = h = 2R$, а число Нуссельта определяется соотношением

$$\overline{\operatorname{Nu}} = 0.75 \sqrt[4]{\operatorname{Ra}} \cdot \varepsilon_r, \quad (6)$$

где коэффициент ε_t учитывает зависимость физических свойств текущей среды от температуры

$$\varepsilon_t = \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0.25}, \quad Ra = Gr \cdot Pr, \quad Gr = \frac{gR_0^3}{\nu^2} \beta \Delta T \quad (7)$$

Здесь, Ra , Pr , Gr — критерии Рэлея, Прандтля и Грасгофа, соответственно, g — ускорение свободного падения, ν — кинематическая вязкость среды, β — коэффициент объёмного расширения воздуха, ΔT — характерная разница температур. Критерий Прандтля Pr_f принимается по справочным данным [10] для текущей среды при определяющей температуре воздуха, а критерий Прандтля Pr_w — при температуре стенки.

Таблица 3 – Значения коэффициентов C и n в формуле (8)

Ra	Режим течения	C	n
$< 10^{-3}$	Плѐночный	0.5	0
$10^{-3} - 5 \times 10^2$	Переходный от плѐночного к ламинарному	1.18	1/8
$5 \times 10^2 - 2 \times 10^7$	Ламинарный и переходный к турбулентному	0.54	1/4
$> 2 \times 10^7$	Турбулентный	0.135	1/3

Коэффициент теплоотдачи на боковой поверхности S_s при свободной конвекции около горизонтальных труб рассчитывается по критериальным формулам М. А. Михеева [11]

$$\lambda_s = \frac{C \cdot Ra^n \cdot K}{R_0}, \quad (8)$$

где коэффициенты C и n выбираются в зависимости от режима течения по таблице 3. В качестве характерного размера R_0 принимается диаметр заготовки $d = 2R$.

При вертикальном расположении образца средний коэффициент теплоотдачи λ_s на боковой поверхности следует вычислять по формулам (5)–(7), где характерным размером является длина заготовки L . Теплоотдача на горизонтальных торцах приближѐнно рассчитывается по формулам для вертикальных пластин (5)–(7) с введением поправок на расположение теплоотдающей поверхности [9]:

для поверхности теплообмена, обращенной вверх

$$\lambda_R = 1.3\lambda_v, \quad (9)$$

для поверхности теплообмена, обращенной вниз

$$\lambda_L = 0.7\lambda_v, \quad (10)$$

где λ_v — коэффициент теплоотдачи, рассчитанный по формулам (5)–(7).

2.2. Численные результаты

Нестационарная задача теплопроводности (1) с граничными условиями (2)–(3) преобразуется к матричному виду, с использованием вариационной формулировки и стандартных конечно-элементных процедур

$$[C] \{ \dot{T} \} + [K + K_c] \{ T \} = \{ Q_c \}. \quad (11)$$

Здесь C , K , K_c — матрицы удельной теплоёмкости (температурного демпфирования), теплопроводности и конвекции, соответственно; Q_c — вектор конвективного переноса тепла с поверхности.

Решение уравнения (11) выполнялось в программном комплексе Ansys. Интегрирование по времени производилось с использованием неявной безусловно устойчивой схемы на основе метода Ньюмарка. В связи с температурно-зависимыми параметрами материала на каждом временном шаге необходимо уточнять решение задачи теплопроводности с помощью итерационной процедуры.

Различная скорость отдачи тепла на боковых поверхностях заготовки приводит к возникновению неоднородного поля температуры. В этом случае важным моментом является определение области внутри изделия, в которой при остывании формируется бейнитная

структура. С целью выявления особенностей процесса охлаждения на воздухе проведена серия численных экспериментов. Анализ заготовок разного диаметра ($d = 50, 80, 100, 200, 400, 600$) при фиксированном отношении $L/d = 1.6$ позволил установить, что при $d < 400$ распределение температуры внутри области незначительно отличается от однородного. Наибольшая разница между температурой в самой горячей и холодной точках имеет место в начале процесса охлаждения и для $d = 400$ составляет десятки градусов, однако с течением времени она значительно уменьшается, поэтому ей можно пренебречь.

На рисунках 3–4 продемонстрирована возможность получения структуры нижнего бескарбидного бейнита в круговых цилиндрических заготовках с диаметрами 50, 80, 100, 200, 400 мм. Соответствующие кривые обозначены цифрами 1–5. Из представленных данных видно, что температурные зависимости образцов 1–4 попадают в область с бейнитной структурой для обоих видов стали, а пятый, в виду больших геометрических размеров, остывает слишком медленно. К сожалению, температура начала бейнитного превращения для сплава 25ХНЗМФС ($B_n > 400$ °С) указывает на то, что происходит формирование верхнего бейнита. Для получения структуры НБКБ необходимо увеличить скорость охлаждения, например, с помощью обдува заготовки вентилятором.

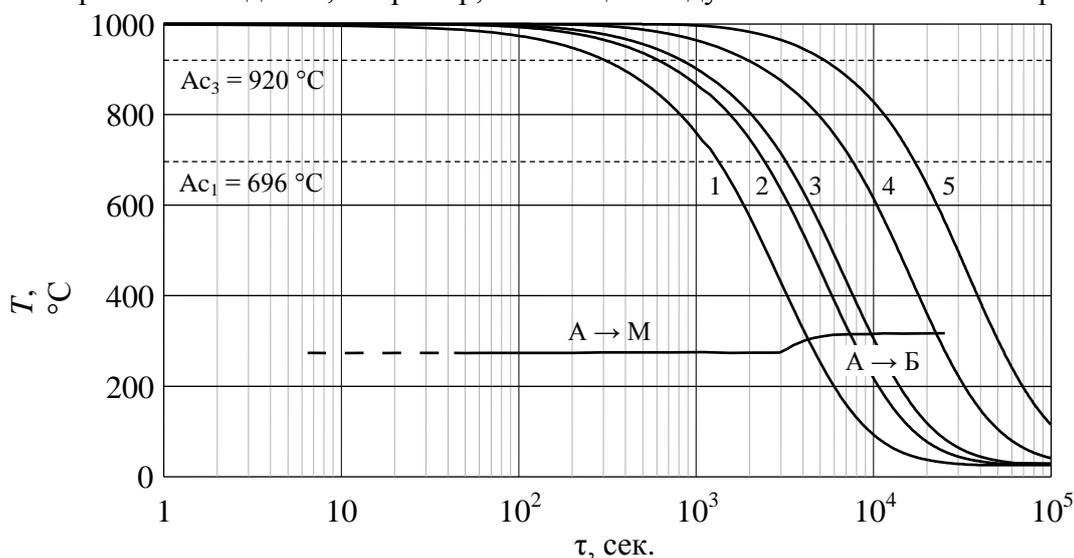


Рис. 3 – Термокинетическая диаграмма для стали 25Х3ГЗМФС

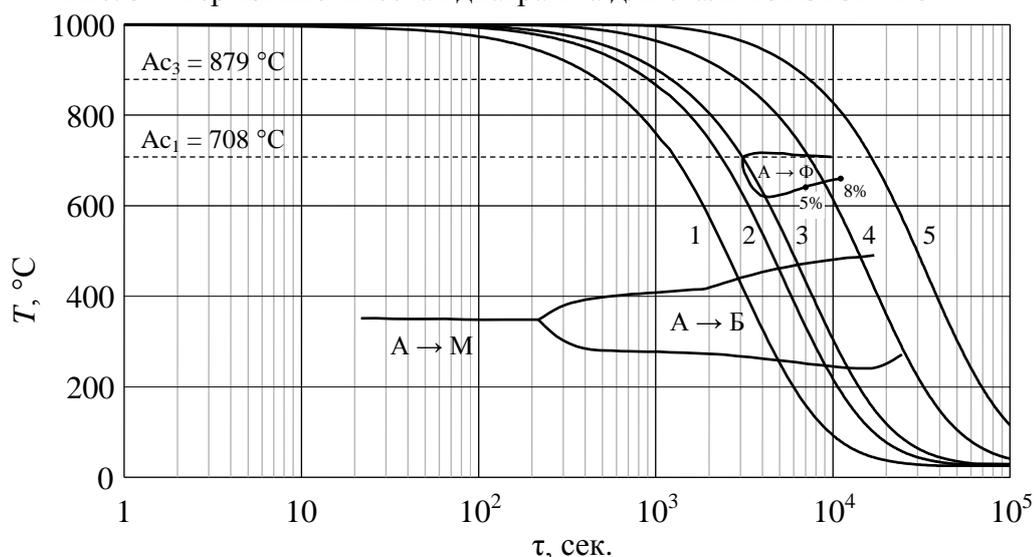


Рис. 4 – Термокинетическая диаграмма для стали 25ХНЗМФС

Заключение

1. На основе дилатометрических и металлографических экспериментов для двух марок стали 25ХЗГЗМФС и 25ХНЗМФС были установлены температурные режимы охлаждения, обеспечивающие формирование структуры нижнего бескарбидного бейнита. Для стали 25ХЗГЗМФС режим состоит в нагреве до 1000°C и последующем охлаждении со скоростями из интервала от 0.3 до 0.03°C/сек. Для стали 25ХНЗМФС необходим нагрев до 1000°C и последующее охлаждение со скоростями из интервала от 1.5 до 0.3°C/сек.

2. По результатам численного моделирования нестационарного процесса охлаждения на воздухе в горизонтальном положении цилиндрических заготовок из сталей марок 25ХЗГЗМФС и 25ХНЗМФС оценена возможность получения структуры нижнего бескарбидного бейнита в зависимости от характерных размеров заготовок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. в составе мероприятий по реализации Постановления Правительства РФ №218).

Список литературы

1. Певзнер Л.М. В кн.: Металловедение и термическая обработка. – М.: Машгиз, 1955. – С. 74-106.
2. *Bojarski Z., Bold T.* Structure and properties of carbide- free bainite // *Acta Met.* – 1974. – V. 22, N. 10. – P. 1223-1234.
3. *Калетин Ю.М., Рыжков А.Г., Калетин А.Ю.* Легирование и термическая обработка сталей с бейнитной структурой // *МиТОМ.* – 1987. – №10. – С. 13-17.
4. *Caballero F.G., Garcia-Mateo C., Santofimia M.J., Miller M.K., Garcí'a de Andre C.* New experimental evidence on the incomplete transformation phenomenon in steel // *Acta Materialia.* – 2009. – №57. – P. 8-17.
5. *Caballero F.G., Bhadeshia H.K.D.H.* Very strong bainite // *Current Opinion in Solid State and Materials Science.* – 2004. – N. 8. – P. 251-257.
6. *Caballero F.G., Miller M.K., Babu S.S., Garcia-Mateo C.* Atomic scale observations of bainite transformation in a high carbon high silicon steel // *Acta Materialia.* – 2007. – N. 55. – P. 381-390.
7. *Симонов Ю.Н., Георгиев М.Н.* Принципы конструирования химического состава сталей для получения в них структуры нижнего бескарбидного бейнита при замедленном охлаждении. // Сб. тез. 2-й науч.-практ. конфер. с междунар. участ. «Информационные технологии в машиностроении и материаловедении». – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014. – С. 184-188.
8. *Reddy J.N., Chin C.D.* Thermomechanical analysis of functionally graded cylinders and plates // *Journal of Thermal Stresses.* – 1998. – V. 21. – P. 593-626.
9. *Бухмиров В.В.* Расчёт коэффициента конвективной теплоотдачи. – Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2007. – 39 с.
10. *Краснощеков Е.А., Сукомел А.С.* Задачник по теплопередаче. – М.: Энергия, 1980. – 288 с.
11. *Михеев М.А.* Основы теплопередачи. – М.-Л.: ГЭИ, 1956. – 390 с.

05.09.03

Е.Н. Леонов

ФГБОУ ВПО Тюменский государственный нефтегазовый университет,
филиал ТюмГНГУ в г. Тобольске, кафедра электроэнергетики, г. Тобольск, leonov@tobii.ru

ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ МАЛЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ КОГЕНЕРАЦИИ

Рассмотрен вопрос объединения малых электротехнических систем и комплексов на основе методологии когенерации в виртуальную электростанцию и необходимые для этого интеграционные технологии. Дана оценка положительных эффектов от такого объединения, а также сдерживающих факторов развития технологии.

Ключевые слова: *малая электротехническая система, когенерация, интеграция, виртуальная электростанция.*

Один из возможных путей развития энергетики – децентрализация электрических систем (распределённая генерация). Распределённое производство электроэнергии в малых децентрализованных единицах сократит выбросы и снизит потери в сетях, а также обеспечит возможности развития для возобновляемой энергетики [1]. Такое производство может стать составной частью более жизнеспособных энергосистем будущего. Широкое внедрение распределённой генерации подразумевает ряд структурных изменений, что может явиться новым скачком в развитии российской энергетики.

Продвижение технологий когенерации в малых электроэнергетических системах соответствует общей тенденции к меньшим размерам электростанций в мировой энергетике. Это приводит к повышению интереса к малым единицам производства тепловой и электрической энергии с перспективой развития таких установок.

Технологическое ядро микрокогенерации – энергетическая преобразовательная установка, которая позволяет одновременно производить электричество и высокую температуру в малых объемах. В дополнение к этой основной технологии в микросистему когенерации вовлечены дополнительные компоненты, например для развитого доступа к сети, включая возможное измерение и управляющие устройства (рис. 1).

Для взаимодействия малых объектов генерации в окружении большой системы, например таких объектов как «виртуальная электростанция», требуются эффективных устройств для связи между самими устройствами микрогенерации, а также ими и системным оператором. Эти коммуникационные технологии должны поддерживать оптимальную работу системы генерации, с учётом эффективной работы отдельных систем в соответствии с требованиями потребителей и оператора сети.

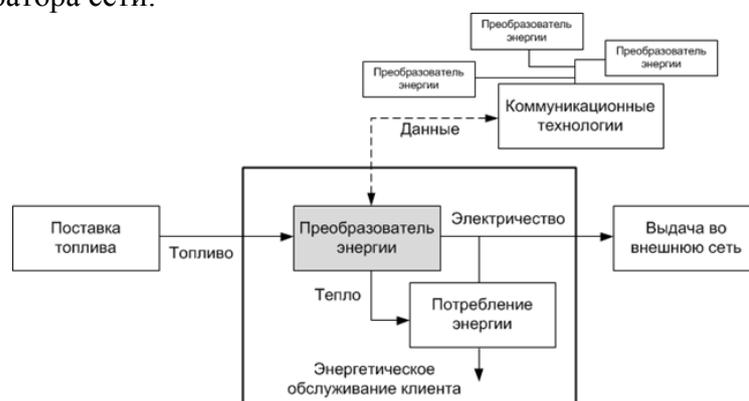


Рис. 1 – Технологические компоненты малых электротехнических систем на основе методологии когенерации

Организация единой сети нескольких устройств микрогенерации возможна на нескольких уровнях:

- микросети, которые физически соединяют устройства микрогенерации с несколькими клиентами без дальнейшей информации о передаче между единицами, формируя, таким образом, более или менее независимую сеть;

- информационные технологии, соединяющие микро единицы когенерации с сервером данных;

- «виртуальные электростанции», которые объединяют информационные технологии с централизованной системой управления.

Коммуникационные интерфейсы для сетевой интеграции малых электротехнических объектов в настоящее время разрабатываются несколькими фирмами. Данные интерфейсы предоставляют дополнительные функции, такие как сетевой контроль электростанции, а также противоаварийные устройства, автоматизированный сбор данных и оповещения обслуживающих компаний в случае ошибок или аварий, и т.д.

В отношении домашних хозяйств подобные коммуникационные устройства могут быть разработаны для формирования системы управления энергетикой домашнего хозяйства. Такое домашнее управление нагрузкой может активно влиять на суммарное домашнее электропотребление, в зависимости от внешних данных (например, тарифов на электричество с временной зависимостью), отсрочить и расположить по приоритетам нагрузки, и, в конечном счете, действовать как «домашний энергетический брокер», автоматически продавая или покупая электричество от других клиентов.

Чтобы использовать дополнительные выгоды и услуги устройствами микрогенерации может внешне управлять центральный оператор. Относительно простым и дешевым методом коммуникации может быть однонаправленная технология контроля за изменением нагрузок, которая позволяет включать или выключать малую электростанцию в периоды пика или низкого электропотребления. Управление данными через Интернет, технологию силовых линий (Powerline), SMS или другие формы двунаправленных потоков данных является еще более передовым.

Понятие коммуникативной организации сети в конечном счете приводит к виртуальной электростанции. Виртуальная электростанция состоит из многих географически распределенных единиц производства электроэнергии, обычно децентрализованных, с низкой электрической мощностью, объединенных в одну большую эксплуатационную единицу посредством объединенного интерфейса оператора и контроля. Термин «виртуальный» не относится к энергетическим потокам, а скорее к самой станции, которая не имеет однозначного местоположения, но рассеяна среди многих генераторов. Устройства микрогенерации могут быть элементами такой виртуальной электростанции.

Для успешной интеграции энергетических систем особенно необходимы информационно-коммуникационные технологии и система управления. Система управления часто включает инструмент прогнозирования, чтобы прогнозировать изменение нагрузки и спроса, а также эффективнее объединять отдельные системы. Линии связи с внешними поставщиками услуг, такими как метеослужбы, рынки электричества, и т.д. требуются, если должно быть произведено более точное, а значит и более сложное, прогнозирование и оптимизация. Кроме того, оптимизация и инструменты моделирования могут явиться частью системы управления виртуальной электростанции.

Возможные коммуникационные пути включают телефонную коммуникацию, особенно ISDN и DSL, Интернет, контроль за изменением нагрузки, UMTS и технология Powerline (где линии электропередачи используются в качестве коммуникационной среды).

С экономической энергией точки зрения объединение малых электротехнических систем и комплексов в виртуальную электростанцию могут предложить различные способы уменьшить затраты и увеличить доходы [2].

Снижение затрат: эффекты, связанные с «интересами кластера», например, приобретение более крупных установок или большого числа единиц когенерации, или

контрактов на их обслуживание приводит к скидкам объема, а также скидкам за необходимое для производства топливо. Кроме того, более крупным операторам могут быть предложены более низкие процентные ставки, чем отдельным операторам электростанции. С другой стороны, интеграция нескольких систем в одну эксплуатационную единицу может использоваться для снижения затрат эксплуатации и обслуживания, или к минимизированному расходу топлива (и таким образом, более низким топливным затратам), из-за оптимизированных эксплуатационных стратегий.

Увеличение доходов: продукты когенерации, особенно электричество, при объединении множества систем могут быть проданы по-другому, т.к. могут быть снижены определенные операционные издержки, и могут быть выполнены определенные нормативные требования (например, чтобы участвовать в ФОРЭМ, требуется выполнить требование по минимальной генерации). Эти варианты включают продажу электричества на оптовом рынке или регулировании энергетических рынков.

Вместе с этими положительными экономическими аспектами виртуальных электростанций, нужно отметить, что количество энергии, которая может быть коммерциализована на малых электротехнических комплексах производства электроэнергии, обычно незначительна. Это связано с тем, что во многих случаях собственное потребление производителем сгенерированной электроэнергии более прибыльно, чем выдача его в сеть, даже с учётом новых маркетинговых возможностей. Кроме того, производство электроэнергии объединено с выделением тепла, которое должно использоваться локально. Имеющиеся барьеры также значительно ослабляют реализацию альтернативных способов коммерциализации. При современных условиях кроме виртуальных электростанций, основанных на больших индивидуальных установках генерации с потенциально более высокими доходами, установки микрогенерации не оправдывают высокий расход для внедрения и управления виртуальной электростанцией.

Выводы

В данном исследовании произведён анализ возможных технологий интеграции электротехнических систем и комплексов с распределённой генерацией. Описаны способы снижения затрат и увеличения доходов, достигаемые путём такой интеграции.

Список литературы

1. *Pehnt M., Cames M.* Micro Cogeneration: Towards Decentralized Energy Systems. Springer, 2006. 356 p.
2. *Леонов Е.Н.* Технологии микрогенерации и их перспективы // Инновации. Интеллект. Культура. Материалы XXI Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции (7 – 10 апреля 2014 г., г. Тобольск). – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – с. 131– 137.

05.23.01

З.Р. Лихов, В.Х. Хуранов, М.И. Бжахов, А.Я. Джанкулаев

ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
zalimhan@rambler.ru

УЧЕТ ПОЛНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В АЛГОРИТМЕ РАСЧЕТА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье предлагается алгоритм расчета с учетом полных диаграмм деформирования бетона и предварительно напрягаемой высокопрочной арматурной стали используемых для разработки методики расчета железобетонных элементов с комбинированным преднапряжением.

Ключевые слова: *комбинированное преднапряжение, полные диаграммы деформирования, изгибаемые железобетонные элементы.*

Ранее предложенная [1] шагово-итерационная методика расчета распространяется на любые сочетания преднапряжения растяжения и сжатия арматуры растянутой и сжатой зон изгибаемых элементов.

Приводимые далее алгоритмы и программы расчета по предложенной методике распространены на шесть сочетаний преднапряжений растяжения и сжатия арматуры различного уровня (ниже и выше условного предела упругости), имеющих практическое значение (табл. 1).

В разработанном алгоритме рассмотрены все 6 сочетаний комбинированного преднапряжения, указанные в табл. 1.

В подпрограмме 1 определяются геометрические характеристики приведенного сечения.

В подпрограмме 2 вычисляются потери преднапряжений в предварительно растянутой арматуре.

Таблица 1. Сочетания преднапряжений арматуры S_p растянутой и S'_p сжатой зон железобетонных балок в разработанном алгоритме

Номера сочетаний преднапряжений	Преднапряжения	
	σ_{sp}	σ'_{sp}
1	0	0
2	0	0
3	0	<0
4	$0 < \sigma_{sp} \leq \sigma_{el}$	0
	$> \sigma_{el}$	0
5	$0 < \sigma_{sp} \leq \sigma_{el}$	$0 < \sigma'_{sp} \leq \sigma_{el}$
	$> \sigma_{el}$	$0 < \sigma'_{sp} \leq \sigma_{el}$
	$0 < \sigma_{sp} \leq \sigma_{el}$	$> \sigma_{el}$
	$> \sigma_{el}$	$> \sigma_{el}$
6	$0 < \sigma_{sp} \leq \sigma_{el}$	<0
	$\sigma_{sp} > \sigma_{el}$	<0

На рис. 1 приведена общая блок-схема расчета по обеим группам предельных состояний.

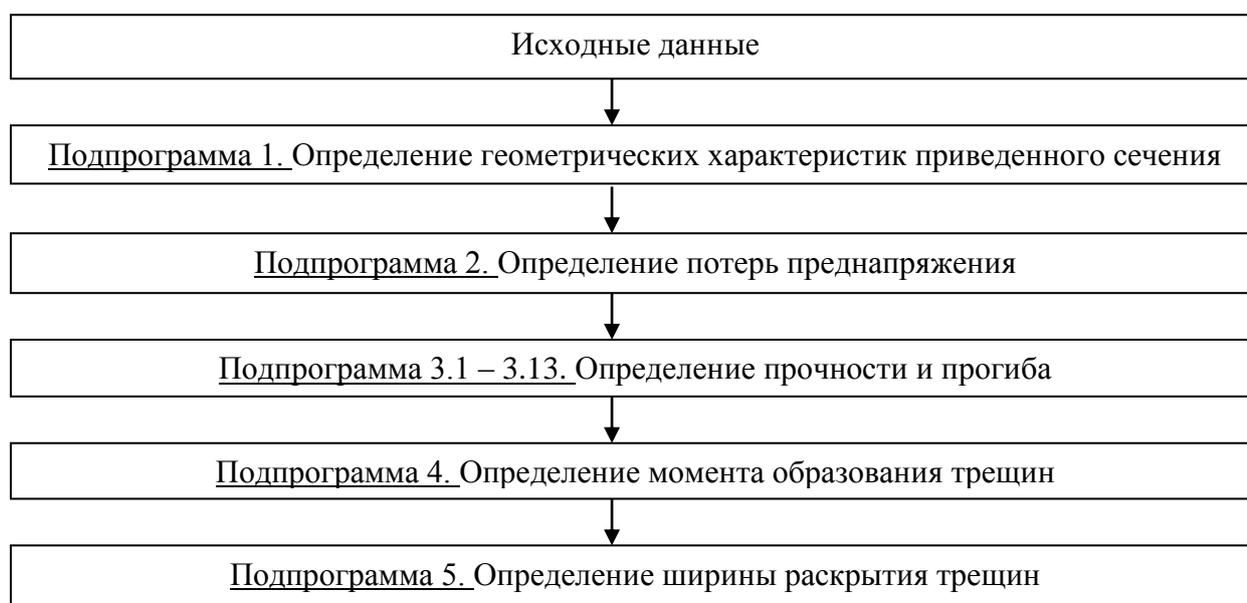


Рис. 1-Блок-схема расчета железобетонного изгибаемого элемента с учетом нисходящих ветвей кривых деформирования бетона и арматуры.

Подпрограммы 3.1 – 3.13, посвященные расчету прочности нормальных сечений и прогибам балок, являются основными, содержащими предложенную автором методику расчета с учетом полных диаграмм деформирования бетона и арматуры.

В подпрограмме 3.1 определяются общие параметры, используемые в последующих подпрограммах и дается ключ к выбору подпрограмм.

В подпрограмме 3.2 рассматривается расчет элемента с невысокопрочной арматурой при отсутствии преднапряжений.

В подпрограмме 3.3 рассматривается расчет элемента с высокопрочной арматурой при отсутствии преднапряжений.

В подпрограмме 3.4 рассматривается расчет элемента при предварительном растяжении арматуры S_p растянутой зоны до значения не превышающем условный предел упругости σ_{el} .

Подпрограмма 3.5. При преднапряжении арматуры S_p , превышающем предел упругости.

Подпрограмма 3.7 содержит указания по определению напряжений в арматуре, когда преднапряжения в арматуре S_p растянутой зоны превышают условный предел упругости, а суммарные напряжения σ_{si} в этой арматуре при внешнем нагружении не превышают указанный предел.

Подпрограмма 3.8 составлена для случая, когда арматура S_p растянутой зоны подвергается предварительному растяжению до предела упругости, а арматура S'_p сжатой зоны – выше предела упругости.

Подпрограмма 3.9 содержит указания по определению суммарных напряжений в арматуре, не превышающих предел упругости при внешнем нагружении, в случае, когда арматура как растянутой, так и сжатой зон подвергается предварительному растяжению выше предела упругости.

Подпрограмма 3.10 относится к комбинированному преднапряжению, а арматура S_p подвергается предварительному сжатию. Предварительные и суммарные напряжения не превышают условный предел упругости.

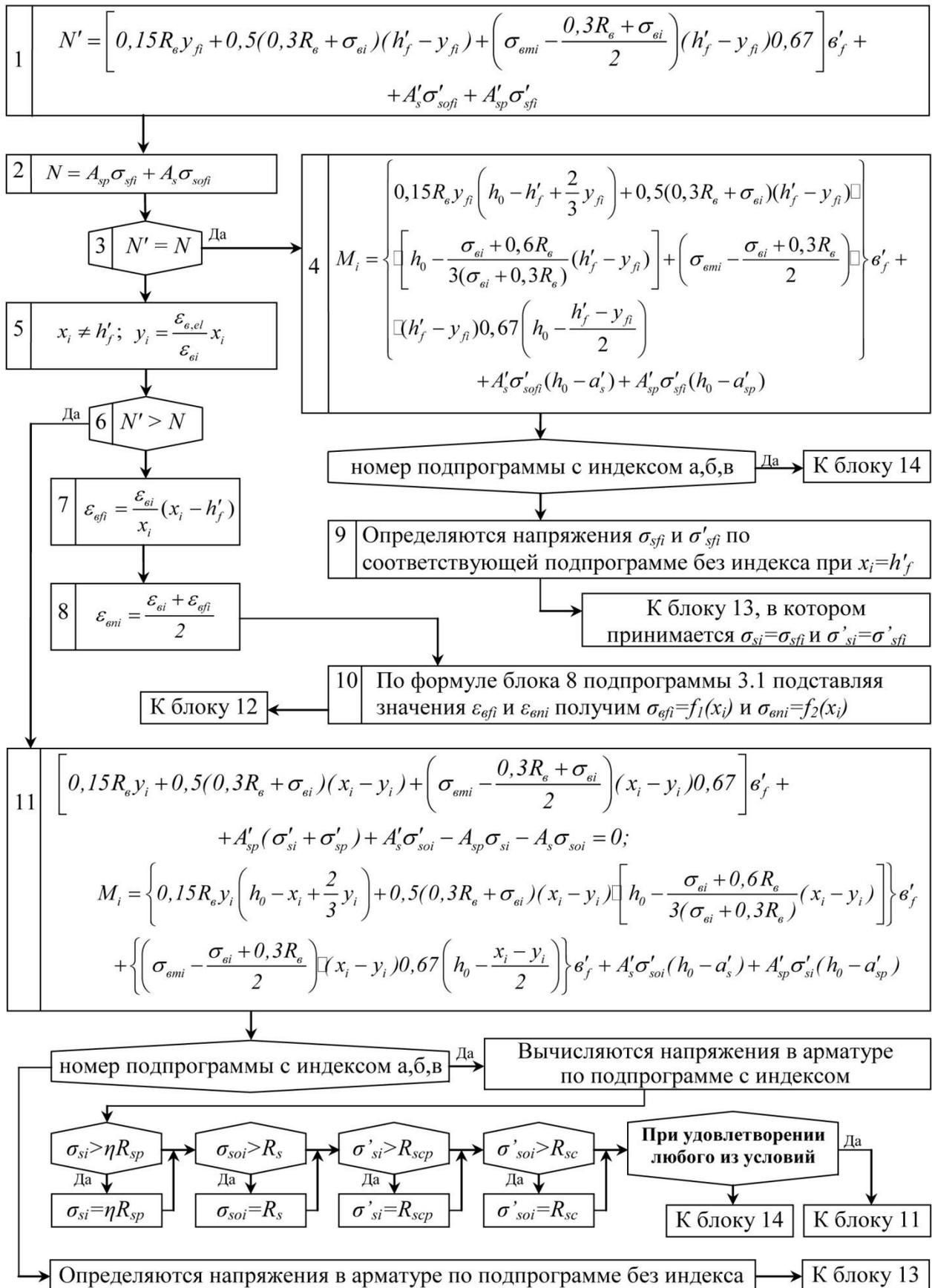


Рис. 2 - Подпрограмма 3.13. Определение момента, кривизны и прогиба.

$$\begin{aligned}
 & \left[0,15R_6 y_i + 0,5(0,3R_6 + \sigma_{ei})(x_i - y_i) + \left(\sigma_{emi} - \frac{0,3R_6 + \sigma_{ei}}{2} \right) (x_i - y_i) 0,67 \right] \epsilon + \\
 & + \left[0,5(\sigma_{ei} + \sigma_{efi}) h'_f + \left(\sigma_{emi} - \frac{\sigma_{ei} + \sigma_{efi}}{2} \right) h'_f 0,67 \right] (\epsilon'_f - \epsilon) + \\
 & + A'_{sp} (\sigma'_{si} + \sigma'_{sp}) + A'_s \sigma'_{soi} - A_{sp} \sigma_{si} - A_s \sigma_{soi} = 0; \\
 M_i = & \left\{ 0,15R_6 y_i \left(h_0 - x_i + \frac{2}{3} y_i \right) + 0,5(0,3R_6 + \sigma_{ei})(x_i - y_i) \left[h_0 - \frac{\sigma_{ei} + 0,6R_6}{3(\sigma_{ei} + 0,3R_6)} \right] + \right. \\
 & \left. + \left(\sigma_{emi} - \frac{0,3R_6 + \sigma_{ei}}{2} \right) (x_i - y_i) 0,67 \left(h_0 - \frac{x_i - y_i}{2} \right) \right\} \epsilon + \\
 & + \left\{ 0,5(\sigma_{ei} + \sigma_{efi}) h'_f \left[h_0 - \frac{\sigma_{ei} + 2\sigma_{efi}}{3(\sigma_{ei} + \sigma_{efi})} \right] + \left(\sigma_{emi} - \frac{\sigma_{ei} + \sigma_{efi}}{2} \right) h'_f 0,67 (h_0 - 0,5h'_f) \right\} (\epsilon'_f - \epsilon) + \\
 & + A'_s \sigma'_{soi} (h_0 - a'_s) + A'_{sp} (\sigma'_{sp} + \sigma'_{si}) (h_0 - a'_{sp})
 \end{aligned}$$

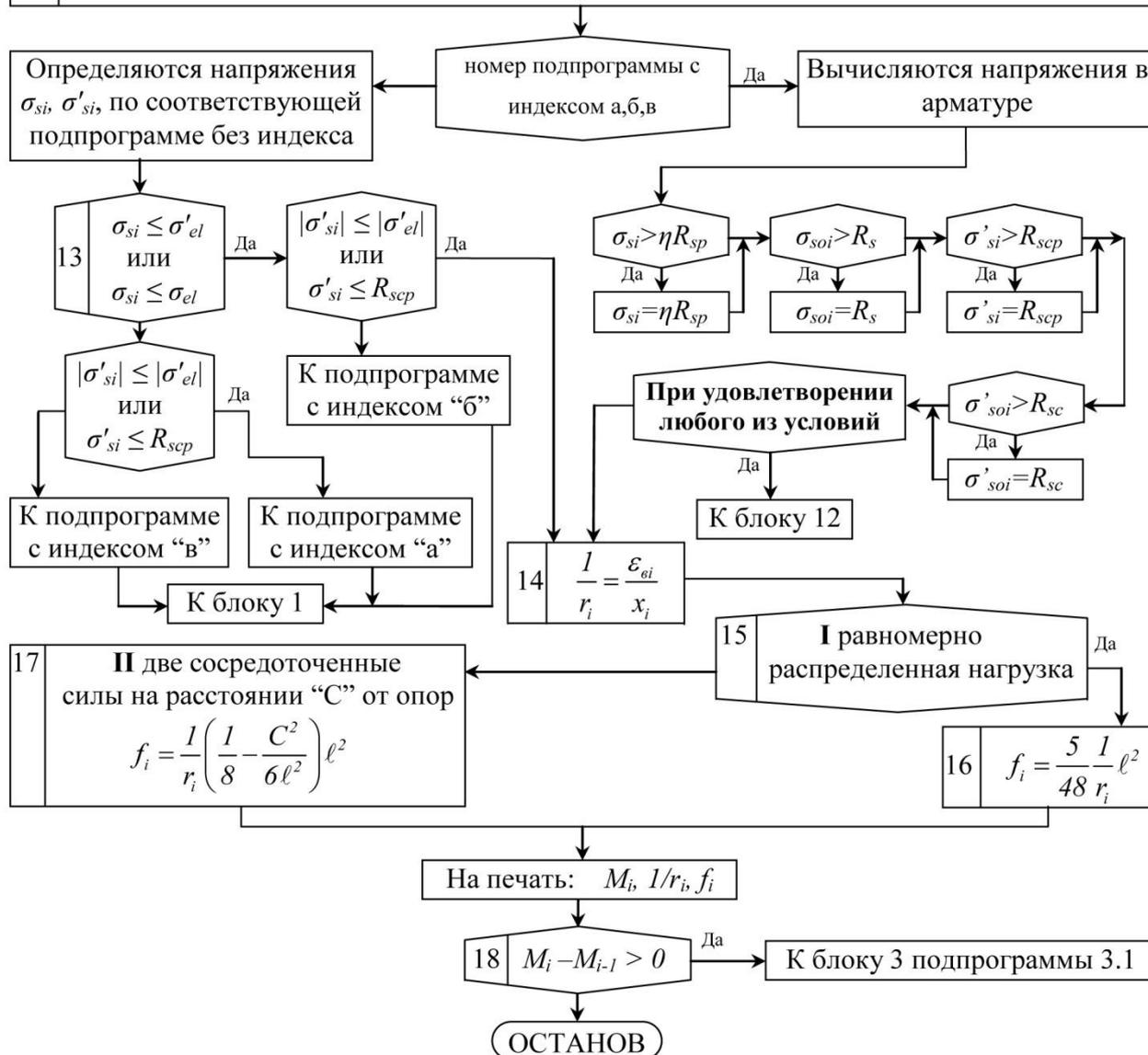


Рис. 3 - Окончание подпрограммы 3.13.

Подпрограмма 3.11 содержит формулы для определения суммарных напряжений в арматуре при комбинированном преднапряжении.

Подпрограмма 3.12 содержит указания по определению суммарных напряжений в арматуре при ее упругой работе.

Подпрограммой 3.13 завершается расчет при любом сочетании преднапряжений арматуры растянутой и сжатой зон.

Подпрограммы 4 и 5 содержат рекомендации по определению момента образования трещин и ширины их раскрытия в балках с комбинированным преднапряжением.

Список литературы

1. *Лихов З.Р., Малян Р.Л.* Методика расчета железобетонных элементов с комбинированным преднапряжением при учете полных диаграмм деформирования материалов. Развитие науки и практики железобетонных конструкций. – г. Ростов-на-Дону: РГСУ, СевкавНИПИагропром. – 2003 г. С. 51-68.
2. *Лихов З.Р.* Преднапряженные железобетонные строительные балки и методы их проектирования. (Монография). РГСУ, Ростов-на-Дону, 2007 г. 148 стр.
3. *Малян Д.Р., Малян Р.Л., Хуранов В.Х.* Способы изготовления железобетонных конструкций с переменным преднапряжением по длине элемента. // Известия ВУЗов. Строительство. – 2004. - №5.

05.13.01

В.В. Ломакин к.т.н., И.С. Шаповалова д.с.н., О.С. Резниченко, Н.А. Клименко

Институт управления Белгородского государственного национального исследовательского университета, lomakin@bsu.edu.ru, shapovalova@bsu.edu.ru, oreznichenko@bsu.edu.ru, n.a.klimenko@yandex.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КОРПОРАТИВНОЙ КУЛЬТУРОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Статья посвящена описанию процесса проектирования системы поддержки принятия решений при управлении корпоративной культурой организации, которая в итоге позволит улучшить моральный и деловой климат организации, повысить производительность труда персонала и общую экономическую эффективность организации.

Ключевые слова: *организационная культура, системы поддержки принятий решений, база данных, модель данных.*

В условиях рыночной экономики акценты развития среды обитания человека смещаются в сторону её технологизации. Эти тенденции в полной мере проявляются при решении проблемы поиска путей повышения эффективности деятельности компаний. В настоящее время в этой сфере заметное место занимают задачи совершенствования процесса управления корпоративной культурой, где широко внедряются информационные технологии.

Проблематика корпоративной культуры (КК) весьма перспективна с точки зрения совершенствования деятельности компании. Рассматриваемое направление динамично развивается с точки зрения теории и практики управления, но при этом представлено только многообразием подходов и моделей [1]. На рынке программного обеспечения нет специализированных продуктов по управлению состоянием КК, которые помогли бы руководителям эффективно воздействовать на организационную культуру компании, что способствует повышению производительности труда персонала и, как следствие, эффективности деятельности всего предприятия.

В данном исследовании была поставлена задача разработки специализированной системы поддержки принятия решений (СППР) для решения задач управления корпоративной культурой организации [2]. Система предназначена для оценки организационной культуры и выявления ее доминирующего типа, определения индекса организационной эффективности, а также выявления наиболее значимых характеристик организационной культуры, влияющих в большей степени на эффективность деятельности организации. Важными функциями разрабатываемой системы являются получение рекомендаций и алгоритмов для изменения текущего состояния организационной культуры в зависимости от предпочтений сотрудников административного аппарата, а также дальнейшее развитие характеристик КК и получение наибольшего экономического эффекта.

Блоки анализа проблем и принятия решений включают в себя процедуры и методы, позволяющие сформулировать поставленную проблему, проанализировать с помощью баз данных, моделей и знаний возможности ее решения и получить результат. В экспертный модуль включены средства извлечения знаний, построения и исследования моделей КК для конкретных случаев.

На рис. 1 изображена структура разрабатываемой СППР при управлении КК организации.

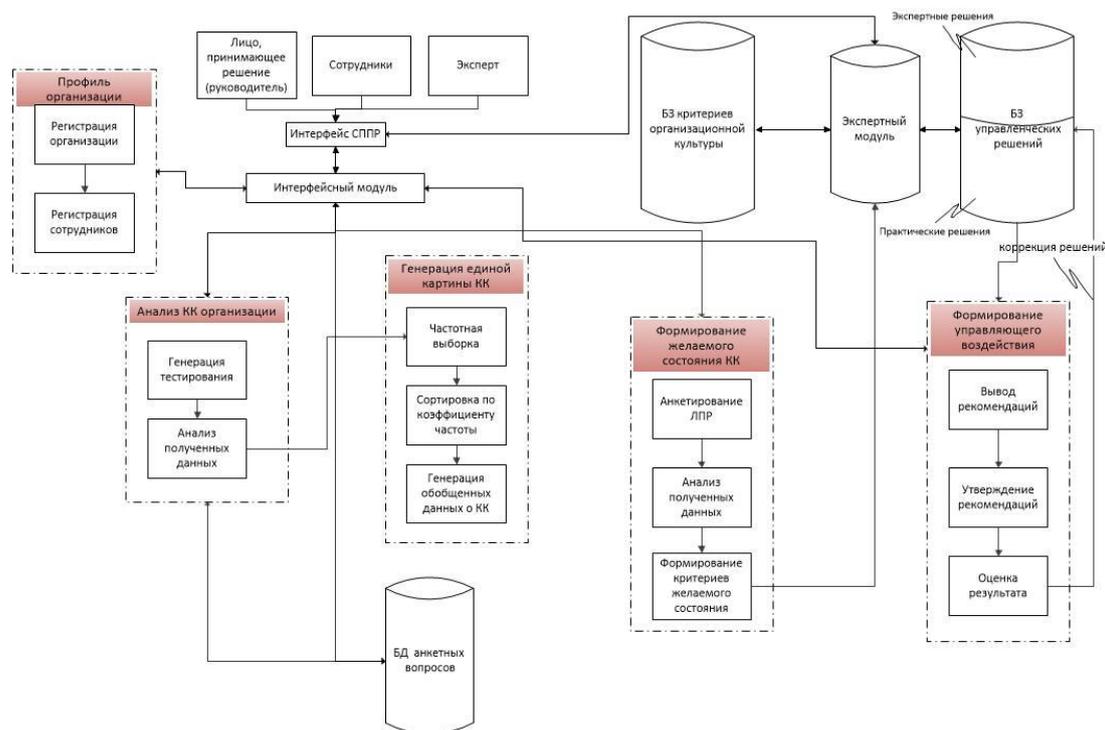


Рис. 1 – Структура СППР управления КК

Субъектами СППР являются сотрудники компании и лица, принимающие решения ЛПР (руководители). Структура СППР состоит из взаимосвязанных модулей [3], состав которых определяется спецификой решаемых задач диагностики и управления КК. Модуль «Профиль организации» отвечает за регистрацию компании в системе и ее сотрудников, которые будут в дальнейшем проходить тестирование. Здесь организовано взаимодействие с базой данных вопросов для анкетирования. В рамках модуля «Анализ КК организации» происходит генерация набора тестовых вопросов для сотрудников и анализ полученных ответов. Далее в модуле «Генерация единой картины КК организации» система проводит выборку наиболее распространенных ответов, сортирует по коэффициенту частоты и генерирует на основе полученных данных общую картину текущего состояния КК организации. В модуле «Формирование желаемого результата» ЛПР также проходит анкетирование, и на основе полученных результатов система формирует критерии желаемого состояния КК. Далее экспертный модуль на основе данных, хранящихся в базе знаний критериев организационной культуры и базы знаний управленческих решений, проводит анализ текущего и желаемого состояния КК и генерирует определенные решения по ее управлению. Данные решения разработаны экспертами в области КК и уже хранятся в базе знаний [5].

На следующем этапе в модуле «Формирование управленческого решения» сформированные решения передаются для анализа пользователю, который принимает окончательное решение по их применению на практике. Решения, которые по различным причинам не удовлетворяют ЛПР, удаляются, и им присваивается нулевой коэффициент.

База знаний управленческих решений делится на два блока: экспертные и практические решения. Практические решения формируются при расстановке коэффициентов руководителями (данный этап происходит после внедрения рекомендованных системой решений и получения результатов и теперь ЛПР выступает в качестве эксперта) [4]. Блок экспертов – это совокупность образов решений, разработанных специалистами в области социологии управления. Управленческие решения, высоко оцененные ЛПР, после их многократного подтверждения и анализа экспертами размещаются в основной – экспертной части базы знаний. Таким образом, неэффективные на практике решения по управлению КК исключаются. [6]

На основе структуры СППР при управлении КК была разработана структура потоков данных (см. рис. 2).

Структура разработана таким образом, что информационные процессы управления КК осуществляются поэтапно, при этом результат одного информационного процесса является входными данными для другого. Объектом хранения полученной информации и передачи ее на следующие этапы является база знаний СППР.

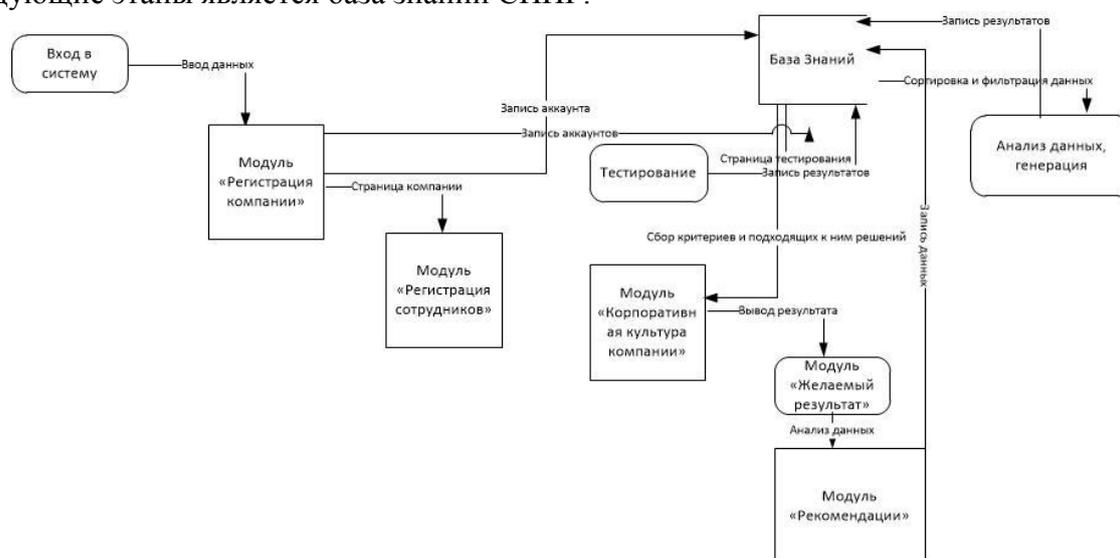


Рис. 3 – Структура потоков данных

В логическую структуру реализации интерфейса пользователя СППР входят пять основных блоков: «Главная», «О корпоративной культуре», «Регистрация», «Моя компания», «Обратная связь».

Таким образом, разрабатываемая система поддержки принятия решений при управлении корпоративной культурой организации позволит оценить организационную культуру, выявить ее доминирующий тип, определить индекс организационной эффективности, а также выявить наиболее значимые характеристики организационной культуры, влияющие на эффективность деятельности организации, получить рекомендации и алгоритмы для изменения текущего состояния организационной культуры в зависимости от предпочтений пользователя. Все это позволит улучшить моральный и деловой климат организации и, следовательно, повысить производительность труда персонала и общую экономическую эффективность организации.

Статья выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект №14-38-00047 по теме «Прогнозирование и управление социальными рисками развития техногенных человекомерных систем в динамике процессов трансформации среды обитания человека» с участием НИУ «БелГУ», ИСПИ РАН, ЮЗГУ.

Список литературы

1. Шаповалова, И.С. Моделирование организационной культуры/ И.С. Шаповалова. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2010. – 232 с.
2. Ларичев О.И. Система поддержки принятия решений: современное состояние и перспективы развития [Текст] / О. И. Ларичев, А. Б. Петровский // Итоги науки и техники. М. - ВИНТИ, 1987. Т. 21 - С. 131-164.
3. Ломакин, В.В. Разработка информационной модели корпоративной культуры организации [Текст]/ В.В. Ломакин, О.С. Резниченко// Сборник трудов Второй Международной научно-технической конференции. 3-5 октября 2011. г. Белгород. – Белгород: ООО «ГиК», 2011. – С. 248-252.
4. Тузовский А.Ф. Системы управления знаниями (методы и технологии) [Текст]/ А.Ф. Тузовский, С.В. Чириков, В.З. Ямпольский// Томск: НТЛ, 2005. – С. 260.
5. Попов Э.В., Экспертные системы [Текст]/ Э.В. Попов// Москва: Наука, 1987 – С. 284.
6. Егоров Н.В., Диагностические информационно-экспертные системы Н.В. Егоров, А.Г. Карпов// Москва: Вильямс, 2002. – С. 258.

05.00.00

А.В. Макаренко к.т.н., М.А. Быковский к.т.н., А.К. Редькин д.т.н.

Московский государственный университет леса, лесопромышленный факультет,
кафедра технологии и оборудования лесопромышленного производства,
Мытищи, makarenko@mgul.ac.ru, bykovskiy@mgul.ac.ru, redkin@mgul.ac.ru

ГРАФЫ СОСТОЯНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ СИСТЕМ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

В работе представлены графы состояний систем лесозаготовительных машин при моделировании технологического процесса лесозаготовок на базе многооперационных и многофункциональных машин.

Ключевые слова: *технология лесозаготовок, моделирование технологических процессов, графы состояний.*

Порядок формирования систем лесозаготовительных машин для определённого технологического процесса во многом определяется распределением выполнения основных (ключевых) операций или набора операций процесса между машинами. При этом основные операции технологического процесса закрепляются за конкретными лесозаготовительными машинами, а вспомогательные или сопутствующие операции (чаще всего переместительные) могут выполняться смежными машинами технологического цикла в зависимости от интенсивности выполнения ими основных операций. Примерами подобных сопутствующих операций, выполняемых на стыке работы смежных машин, могут служить первичная сортировка брёвен харвестером при раскряжёвке стволов или форвардером при погрузке и разгрузке брёвен, укрупнение пачек деревьев ВПМ возвратным переездом машины или набором трелюемой пачки трелёвочным трактором (скиддером) и др.

Рассматривая процесс функционирования системы машин можно выделить отдельные ключевые состояния этой системы, представляющие собой набор комбинаций состояний отдельных машин при выполнении ими технологических операций, при передвижении или простое. Количество состояний системы определяется количеством машин и выделяемыми состояниями отдельных машин при их функционировании в технологическом процессе. При дробном делении технологического цикла выполнения операций на элементы для каждой машины количество состояний всей системы растёт достаточно быстро (в степени, равной количеству машин) и может достигать значительной величины. При этом, построение графа состояний системы машин становится затруднительным. В то же время, дробное деление времени технологического цикла машины во многих случаях не является необходимым условием решения поставленных задач исследования.

Исследование согласованности интенсивностей выполнения технологических операций машинами при определённых природно-производственных условиях в первом приближении можно ограничить двумя состояниями машин: передвижением между рабочими площадками и работой на площадке. Для системы, включающей две машины (например, харвестер и форвардер, вальщик леса и трелёвочной трактор и др.), количество состояний самой системы будет четыре: передвижение обеих машин (S11), работа одной из машин и передвижение другой (S21 и S12), работа обеих машин (S22). Цифры в обозначении состояний системы определяют состояние машины (1 – передвижение; 2 – работа на площадке), место расположения цифры – порядковый номер машины в системе. Граф состояний системы из двух машин с расставленными интенсивностями переходов на рёбрах графа представлен на рис. 1.

На следующем рис. 2 представлен граф состояний системы, включающей три машины. Примерами такой системы могут быть: ВПМ и два скиддера; ВПМ, процессор и форвардер и

др. Состояния системы указанного графа имеют аналогичный смысл, как и в предыдущем случае.

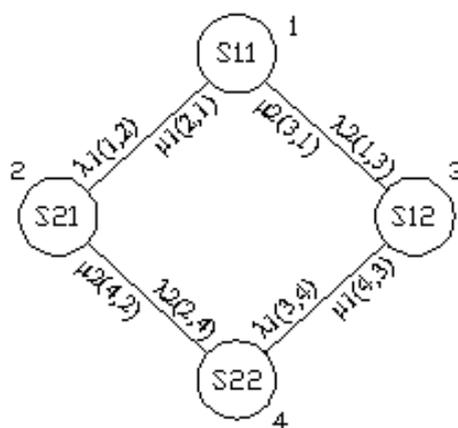


Рис. 1. Граф состояний системы из двух лесозаготовительных машин

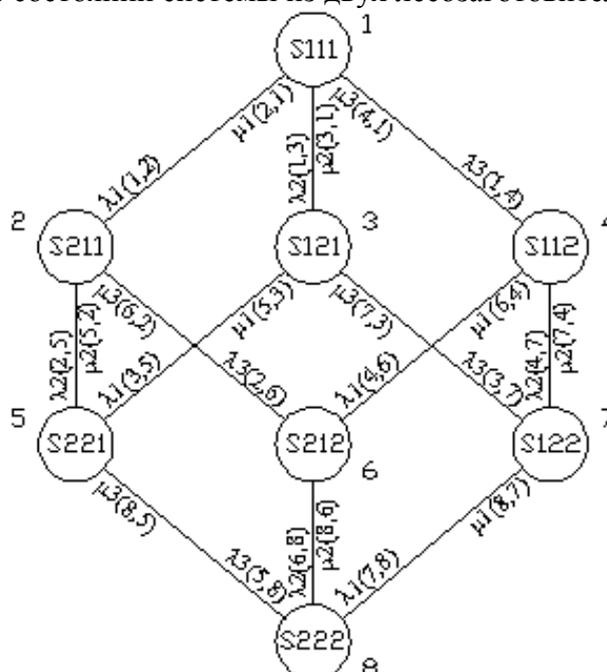


Рис. 2. Граф состояний системы из трёх лесозаготовительных машин

Расставленные интенсивности переходов систем из состояния в состояние, представленных на графах рис. 1 и 2, представляют собой частоту возникновения событий в единицу времени. Интенсивность переходов (событий) является обратной величиной продолжительности пребывания элемента системы в каком-либо состоянии. Для примера системы машин харвестер-форвардер (граф для систем из двух машин на рис. 1) интенсивности переходов системы имеют следующие значения: $\lambda_1 = 1/t_{11}$, где t_{11} – время передвижения харвестера (1 машина) между стоянками; $\mu_1 = 1/t_{12}$, где t_{12} – время работы харвестера на стоянке; $\lambda_2 = 1/t_{21}$, где t_{21} – среднее время грузового и холостого ходов форвардера (2 машина) при трелёвке; $\mu_2 = 1/t_{22}$, t_{22} – среднее время погрузки и разгрузки сортиментов.

Для определения вероятности пребывания системы машин в том или ином состоянии за время смены при известных интенсивностях переходов (интенсивностях возникновения событий по выполнению каких-либо операций) используются дифференциальные уравнения Колмогорова, которые при установившемся процессе становятся линейными уравнениями. Использование данного метода предполагает важное ограничение: потоки событий,

переводящие систему из состояния в состояние, должны быть простейшими, а работа машин системы должна протекать независимо друг от друга. С учётом ранее введённых обозначений интенсивностей переходов для примера системы машин харвестер-форвардер с графом состояний на рис. 1 система линейных уравнений Колмогорова (установившийся процесс) имеет следующий вид

$$\begin{cases} p_2 \cdot \mu_1 + p_3 \cdot \mu_2 - p_1(\lambda_1 + \lambda_2) = 0 \\ p_1 \cdot \lambda_1 + p_4 \cdot \mu_2 - p_2(\lambda_2 + \mu_1) = 0 \\ p_1 \cdot \lambda_2 + p_4 \cdot \mu_1 - p_3(\lambda_1 + \mu_2) = 0 \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1 \end{cases} \quad (1)$$

где p_1, p_2, p_3, p_4 – вероятности пребывания системы машин в выделенных на графе состояниях.

Рассмотрим решение системы уравнений (1) при относительных значениях интенсивностей переходов между состояниями системы машин. Примем следующие отношения интенсивностей для системы машин харвестер-форвардер: $k_1 = \frac{\mu_1}{\lambda_1}$ – отношение интенсивности выполнения технологических операций харвестером на рабочей площадке к интенсивности переезда между рабочими площадками, $k_2 = \frac{\mu_2}{\lambda_2}$ – отношение интенсивности сбора или разгрузки сортиментов форвардером к средней интенсивности переезда в грузовом и холостом направлениях. При этих условиях решением системы уравнений (1) являются выражения

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2 + k_1 \cdot k_2 + 1} \\ P_2 &= \frac{k_2}{k_1 + k_2 + k_1 \cdot k_2 + 1} \\ P_3 &= \frac{k_1}{k_1 + k_2 + k_1 \cdot k_2 + 1} \\ P_4 &= \frac{1}{k_1 + k_2 + k_1 \cdot k_2 + 1} \end{aligned} \quad (2)$$

Характер зависимостей вероятностей состояний системы из двух машин от параметров k_1 и k_2 по формулам (2) представлен на графиках рис. 3. На графиках параметр k_1 изменяется от минимального значения до 0,8, а параметру k_2 присвоено значение 1,5.

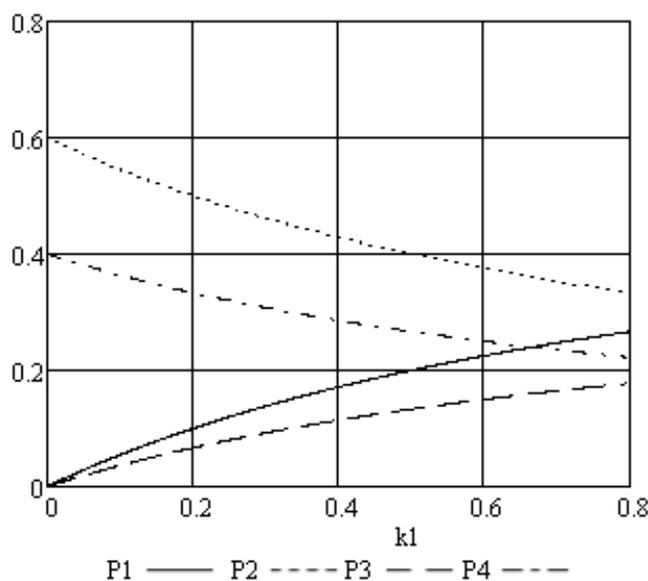


Рис. 3. Графики изменения вероятностей состояний системы из двух машин при переменном параметре k_1 и $k_2 = 1,5$.

Оценивая значимость состояний системы из двух машин по графу на рис. 1 можно выделить состояния 2 и 4, как более предпочтительные для роста производительности всей системы машин. При состояниях 2 и 4 первая лесозаготовительная машина (в рассматриваемом примере харвестер) выполняет операции на рабочей площадке, вторая машина (форвардер) выполняет либо трелёвку, либо сбор или разгрузку пачки сортиментов. Состояния 1 и 3 предполагают, что первая машина перемещается между стоянками и в это время не выполняет технологических операций.

Второй граф на рис. 2 для системы из трёх лесозаготовительных машин построен аналогично графу на рис. 1. На рис. 4 представлены графики зависимости вероятностей состояний системы от отношения интенсивностей выполнения машинами технологических операций. При расчёте вероятностей состояний принято, что отношения интенсивностей k_2 и k_3 одинаковы, что возможно, если на трелёвке используются две однотипные трелёвочные машины.

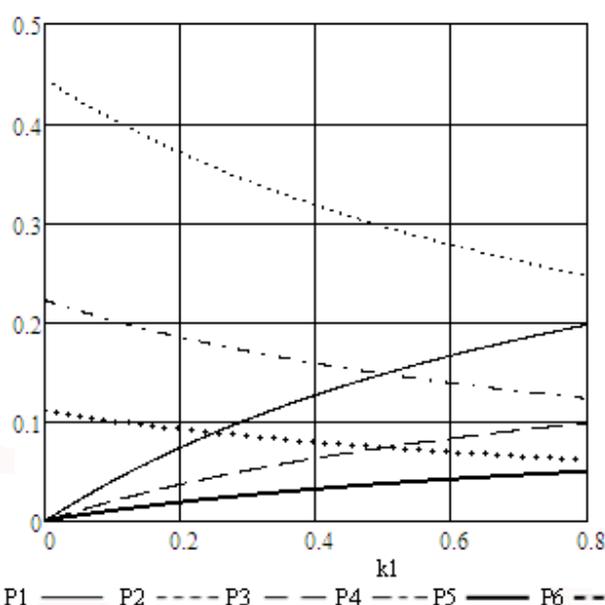


Рис. 4. Графики изменения вероятностей состояний системы из трёх машин при переменном параметре k_1 и $k_2 = 2$.

Выбор наиболее предпочтительных из выделенных состояний системы машин, как и в предыдущем примере, выполняется из условия того, что желаемым состоянием для первой машины (например, ВПМ) является то, при котором машина выполняет операции на рабочей площадке. В связи с этим, такими состояниями по графу на рис. 2 являются 2, 5, 6 и 8.

Моделирование работы систем машин при помощи графов состояний с принятыми в начале допущениями позволяют получить только приблизительную оценку эффективности применения данной системы машин. Несмотря на это, рассмотренный метод анализа предоставляет важную информацию о согласованности машин системы.

Список литературы

1. Редькин, А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок./ А.К. Редькин – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 256 с.
2. Макаренко, А.В. Программное проектирование трелёвочных волоков на лесосеке./ А.В. Макаренко // Лесной вестник, 2013. - №1. – С. 99-105.
3. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и её инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров – М.: Высшая школа, 2000. – 383 с.
4. Быковский, М.А. Высотехнологичные лесозаготовительные производства на базе многофункциональных машин / М.А. Быковский, А.К. Редькин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011, №5 (81). – с. 41-42.

05.07.09

В.В. Малышев д.т.н., А.В. Федоров к.т.н., Р.А. Егоров

«Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
факультет №6 «Аэрокосмический» кафедра 604 - «Системный анализ и управление»,
Москва, egorov@spacelab.pro

МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ КА ПРИ ПАРИРОВАНИИ ВНЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ

Рассматривается модель управления и диагностики состояния бортовых систем космического аппарата при возникновении внештатной ситуации на основе системы искусственного интеллекта. Приводится онтология интеллектуальной системы оперативного управления и диагностики бортовых систем КА как модели организационной деятельности, которая позволяет выполнить задачу по повышению надежности и эффективности парирования нештатных ситуаций в процессе управления полетом КА.

Ключевые слова: *мониторинг состояния, космический аппарат, экспертная система, искусственный интеллект, онтология, база знаний, семантическая сеть.*

Целью интеллектуального управления на основе диагностики состояния КА является успешное предотвращение аварийных ситуаций во время полета, что требует своевременное обнаружение и ликвидацию нештатных, в том числе и аварийных ситуаций на борту КА.

Оперативный контроль, а так же непрерывный процесс наблюдения и регистрации параметров КА, в сравнении с заданными критериями для оценки состояния КА включает в себя поиск рационального варианта использования бортовых ресурсов КА в процессе парирования аварийных ситуаций в режиме реального времени [1]. Система управления и диагностики реагирует на события для распознавания проблемной ситуации, осуществляет распределение ресурсов и вырабатывает план, который предусматривает варианты использования бортовых средств космического аппарата при парировании аварийной ситуации. Следующим шагом системы является осуществление оценки исполнения построенного сценария действий по парированию аварийной ситуации; при расхождении факта с планом или при поступлении новых событий (изменении развития аварийной ситуации) необходим запуск перепланирования для построения нового плана с учетом новых факторов, выявленных при развитии и парировании аварийной ситуации. Структура интеллектуальной системы включает три основных блока — базу знаний, механизм вывода решений и интеллектуальный интерфейс.

Гибкость модели интеллектуального управления на основе диагностики бортовых систем КА в значительной степени достигается благодаря использованию онтологии в качестве универсального формата представления знаний и данных в системе, что позволяет значительно упростить и унифицировать обмен информацией между ее элементами [2].

Онтология есть попытка всеобъемлющей и детальной формализации области знаний КА с помощью концептуальной схемы. Обычно такая схема состоит из структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила (теоремы, ограничения), принятые в этой области [3].

Онтология гипотетического КА

Онтология задач (Рис. 1) включает описания решаемых системой задач, решателей и модулей решений, реализующих решения задач.

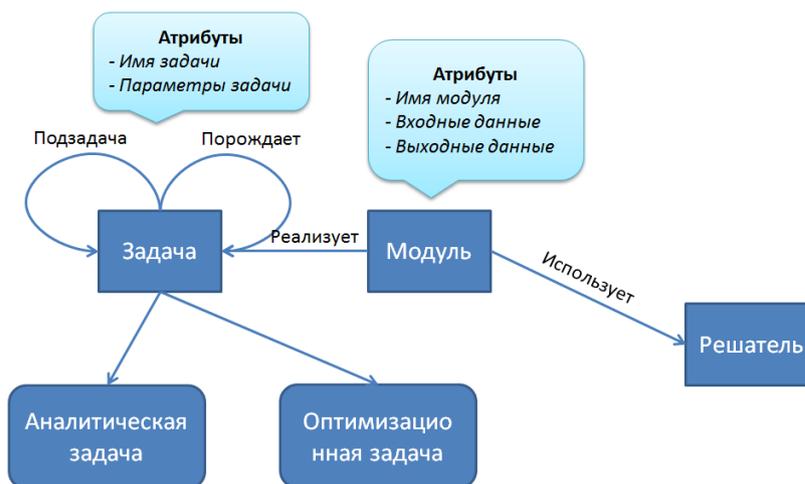


Рис. 1- Онтология задач КА

Для описания задачи вводится понятие (класс) «Задача», имеющий атрибуты «Имя задачи» и «Параметры задачи». Последний атрибут представляет собой множество, состоящее из пар:

- класс онтологии предметной области;
- список имен объектов класса.

Если список имен объектов класса – не задан (пуст), то считается, что задача решается для всех объектов класса онтологии предметной области.

Для представления модулей решений и решателей в онтологии задач вводятся соответственно классы «Модуль» и «Решатель».

На задачах определены отношения «Подзадача» и «Порождает». Первое отношение связывает некоторую задачу с другими задачами (ее подзадачами), решение которых требуется для решения данной задачи. Отношение «Порождает» определяет потенциальную возможность порождения одной задачи другой. Вводится также отношение «Реализует», связывающее модуль принятых решений с задачей, решение которой он обеспечивает.

Все модули решений хранятся в репозитории и снабжены следующими атрибутами: «Имя модуля», «Входные данные», «Выходные данные».

Атрибут «Входные данные» определяет множество типов (классов) объектов, необходимых для функционирования модуля. Значение атрибута содержит:

- $C1$ – множество классов онтологии предметной области;
- Rel – множество отношений онтологии предметной области, заданных на классах $C1$;
- Lim – множество ограничений на значения атрибутов объектов классов из $C1$.

Ограничения Lim служит для фильтрации объектов, для которых необходимо решить задачу. Если модуль реализует задачу, у которой есть параметры, то параметры задачи добавляются к множеству ограничений Lim .

Атрибут «Выходные данные» определяет множество классов, объекты которых могут быть созданы модулем в качестве результатов его работы.

Модуль «Решатель» задает имя программной системы, которая будет исполнять данный модуль поддержки принятия решений.

При необходимости набор модулей решений может быть расширен с помощью конфигулятора системы, который позволяет регистрировать новые модули и включать их в репозиторий модулей и онтологию задач.

Модель системы управления на основе диагностики

Основную функциональность системы интеллектуального управления на основе диагностики бортовых систем КА обеспечивают решатели, реализованные в совокупности с продукционной моделью, включающие структурированное множество продукционных правил, семантика которых описана в соответствии с онтологией гипотетического КА [4].

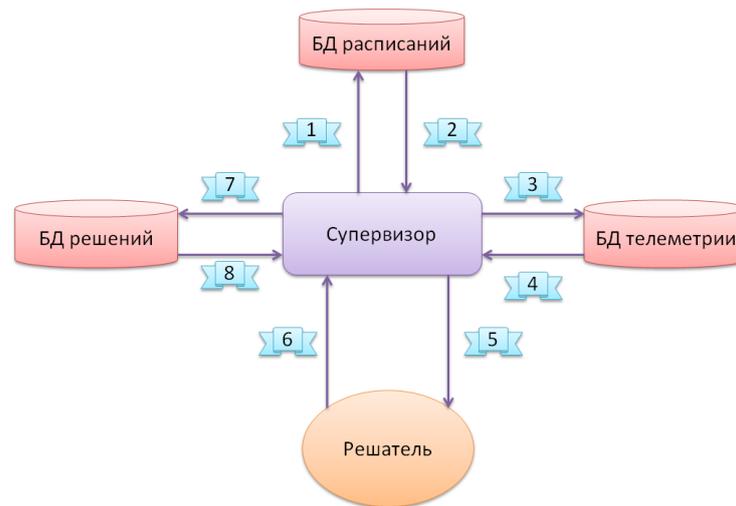


Рис. 2- Принцип функционирования модели интеллектуального управления КА

Работа системы интеллектуального управления и диагностики состояния бортовых систем КА происходит по замкнутому циклу:

1. Супервизор обращается к модулю работы с БД расписаний за очередным заданием.
2. БД расписаний передает очередное задание супервизору в виде уникального номера задания и набора необходимых параметров.
3. В зависимости от содержания задания супервизор осуществляет запрос к БД телеметрии.
4. Супервизор получает ответ на свой запрос в виде набора данных от БД телеметрии.
5. Супервизор запускает определенный решатель, снабдив его необходимыми данными, которые он получил в результате взаимодействия с БД телеметрии и БД расписаний
6. Решатель выполняет возложенные на него задачи и передает полученное решение в супервизору.
7. Супервизор помещает полученное решение в БД решений.

В штатном режиме к БД решений могут обращаться различные подсистемы – потребители решений, которые либо передают решения исполнительным модулям, выполняющим какие-то действия по модификации той или иной подсистемы КА, либо на пользовательский интерфейс для принятия мер по обеспечению устойчивой работы КА.

Заключение

Модель интеллектуального управления на основе диагностики состояния систем на борту КА способствует повышению эффективности, надежности и безопасности на всем протяжении срока активного существования космического аппарата за счет:

- исключения потери во времени на принятие решения по способу парирования нештатной ситуации;
- реализации прогноза состояния бортовых систем КА;
- осуществления непрерывного интеллектуального управления КА.

Тем самым применение на борту данной модели позволяет оперативно реагировать на возникшую нештатную ситуацию в автономном режиме, прогнозировать развитие этой ситуации, и учитывать результаты прогноза при принятии решений.

Список литературы

1. Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г. Бортовые системы управления космическими аппаратами. М.: МАИ-Принт, 2010. 29-35 с.
2. Девятков В.В. Системы искусственного интеллекта. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. — 352 с.
3. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. —24, 243с.
4. Миронов В.В., Иванов А.В. Онтология и теория познания: Учебник. М.: Гардарики, 2005. — 447 с.

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

СИМУЛЯЦИЯ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ С УЧЕТОМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ

В статье приведены основные положения симуляции многошлюзовых беспроводных самоорганизующихся сетей произвольной топологии с учетом решения задачи выбора оптимальных параметров сети на основе принципов дискретно-событийного и агентного моделирования. Рассмотрено применение событийно-ориентированного программирования при построении симуляторов. Приведен пример моделирования БСС для космической системы.

Ключевые слова: *многошлюзовая беспроводная самоорганизующаяся сеть, симуляция, имитационное моделирование, математическая модель, оптимизация.*

Введение. В работах [1, 2] авторами были рассмотрены основные аспекты математического моделирования многошлюзовой беспроводных самоорганизующихся сетей (БСС) произвольной топологии, применяемых для мониторинга параметров авиационных и ракетно-космических систем [1, 3]. Создаваемая модель нацелена на выбор оптимальных параметров таких сетей и относится к классу линейных целочисленных моделей с двоичными переменными, что позволяет использовать эффективные численные методы оптимизации (метод ветвей и границ, методы псевдодобулевского программирования, и др.).

Основу используемой математической модели составляет сетевая модель [4] $G = (V, E)$, где V — множество узлов сети, E — множество дуг, отражающих возможность передачи сообщений между узлами. Поскольку одним из условий функционирования сети является достижимость узлов-стоков (шлюзов) из узлов-источников (измерителей), то в рамках сетевой модели достаточно ограничиться двоичными потоками вдоль дуг сети, что позволяет в полной мере отразить комбинаторную природу решаемых на этой модели задач.

К основным параметрам сети, определяемым в результате решения оптимизационных задач, относятся: геометрическое расположение узлов, которое моделируется в виде

отображения $V \rightarrow F$, где $F = \bigcup_{k=1}^N F_k$ — область мониторинга, F_k — заданная элементарная

ячейка области, а также роли узлов в сети, которые моделируются в виде отображения $V \rightarrow \{S, T, W\}$, где S означает узел-источник (измеритель), T — узел-сток (шлюз), W — узел-маршрутизатор. Основными ограничениями модели, имеющими вид линейных равенств и неравенств, являются [5]: сетевые ограничения, отражающие сохранение потока в узлах сети; псевдодобулевские ограничения для двоичных переменных, моделирующих указанные выше отображения; ограничения, определяющие достаточное покрытие узлами всей области мониторинга; а также, псевдодобулевские ограничения, определяющие существование дуг сети в зависимости от геометрического расположения узлов.

Для апробации разработанной математической модели была выполнена симуляция сети мониторинга психофизиологического состояния и координат космонавтов на борту МКС [3] с учетом определения оптимальных значений параметров сети на основе имитационного моделирования.

Симуляция работы БСС. Имитационная модель состоит из трех частей:

1) формирование структуры взаимодействия узлов сети с учетом текущей конфигурации объекта обслуживания, 2) моделирование автономной работы узла и 3) учет погрешности хода часов узлов. Рассмотрим моделирование этих частей подробнее.

Формирование структуры взаимодействия заключается в моделировании работы радиоканала, моделировании автономной работы узла, включающей действия по синхронизации, измерениям и передаче их результатов, а также ретрансляции сообщений других узлов. Действуя на основе принципов дискретно-событийного и агентного моделирования, алгоритм имитационного моделирования БСС в целом, представленный на рис. 1, делегирует обработку событий алгоритмам работы отдельных узлов.

Основная часть данного алгоритма – цикл обработки событий узлов виртуальной БСС. На рис. 1 этот цикл помечен «события». Обработка выбранных из очереди событий зависит от класса событий. События могут быть двух классов: получение сообщения по радио и прерывание от таймера-счетчика.

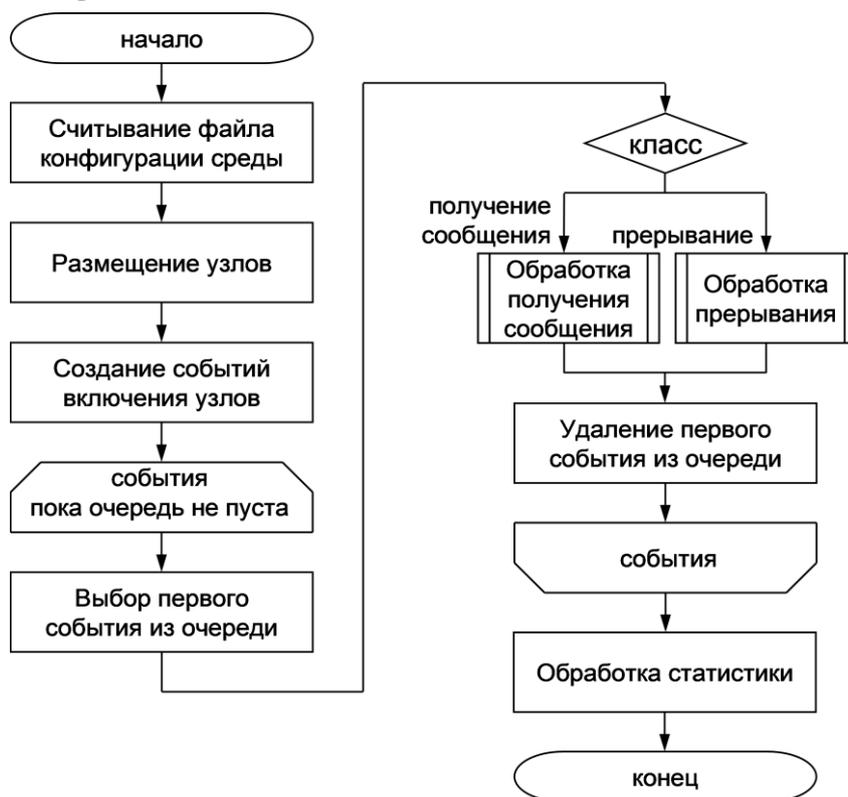


Рис. 1. Алгоритм имитационного моделирования БСС в целом.

Получение сообщения по радио завершает процесс передачи сообщения. Обработка получения сообщения программой узла может привести к планированию новых событий. Прерывания от таймера-счетчика происходят при истечении запланированного узлом интервала времени. Обработка прерывания зависит от текущего состояния узла.

В соответствии с моделью для часов узлов моделируется погрешность, величина которой обусловлена погрешностью изготовления и основными факторами нестабильности кварцевых осцилляторов. Погрешность изготовления осциллятора узла разыгрывается как случайная величина, имеющая найденный экспериментально закон распределения.

Событийно-ориентированное программирование при симуляции БСС. При построении сложных программных систем, управляющих большим количеством объектов (серверные приложения, графический пользовательский интерфейс и т.п.) часто используют парадигму *событийно-ориентированного программирования*. Особенность применения событийно-ориентированного программирования для симуляторов заключается в том, что объекты симулируемого процесса не являются реальными, т.е. существуют не в реальном пространстве, а в пространстве симулируемого процесса. События, которыми обмениваются такие объекты, также не являются реальными. В противоположность реальным объектам и

событиям, будем называть объекты и события симулятора *виртуальными*. В частности, виртуальность событий проявляется в том, что моменты времени их наступления не имеют ничего общего с реальной шкалой времени. Шкалу времени симулируемого процесса, по которой отсчитываются моменты наступления виртуальных событий, будем называть *виртуальным временем*.

В симуляторе период времени между двумя событиями не нуждается ни в какой обработке. Например, если два последовательных события e_i и e_{i+1} происходят в моменты t_i и t_{i+1} виртуального времени, программа симулятора должна их обработать одно за другим без задержки, пусть даже значения виртуального времени t_i и t_{i+1} различаются на большую величину. Иными словами, изменение виртуального времени происходит не непрерывно, а дискретно.

Виртуальные события, упорядоченные по моментам времени их наступления в неубывающем порядке, образуют *очередь событий*. Новое событие добавляется в очередь, занимая в ней место в соответствии со своим моментом времени так, чтобы очередь оставалась упорядоченной (рис. 2). Это позволяет организовать основную программу симулятора в виде циклической выборки и обработки первого события из очереди. Симуляция должна быть завершена по исчерпанию событий в очереди или по достижении заданного момента виртуального времени.

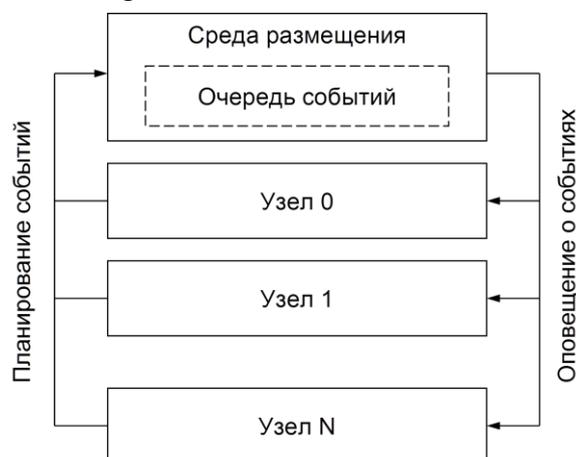


Рис. 2. Поток событий в симуляторе БСС.

При реализации симулятора удобно пользоваться средствами объектно-ориентированного программирования. Виртуальные события в этом случае являются объектами класса «событие». Очередь событий оформляется в виде абстрактного класса «очередь событий». Созданные события могут храниться в очереди событий некоторого специального виртуального объекта. В качестве специального объекта хранения виртуальных событий может выступать корневой объект – прародитель всех виртуальных объектов. В применении к симуляции БСС корневым объектом может являться окружающая среда, через которую осуществляется взаимодействие реальных симулируемых объектов — узлов БСС. Основным циклом главной программы симулятора в этом случае должен быть следующим.

1. Если достигнут предел виртуального времени, то закончить.
2. Если очередь событий объекта среды пуста, то закончить.
3. Выбрать первое событие из очереди событий объекта среды.
4. Удалить выбранное событие из очереди, сохранив его копию.
5. Скорректировать текущее виртуальное время, установив его равным моменту наступления выбранного события.
6. Передать выбранное событие указанному в нем объекту для обработки.
7. Удалить копию выбранного события.
8. Перейти к п.1.

В соответствии с реализуемой парадигмой программирования в основу симулятора положены события и их обработка, т.е. такой симулятор соответствует дискретно-

событийной модели. Все основные объекты симулятора (узлы и окружающая среда) являются источниками и потребителями событий. Класс «очередь событий» реализует функциональность создания событий, помещения их в очередь к адресуемому объекту и инициирования обработки событий при их наступлении. Объекты узлов БСС и окружающей среды используют функциональность класса «очередь событий» при помощи механизма наследования.

Родительским объектом данной структуры является объект «окружающая среда», реализующий радиоканал. Именно этот объект определяет возможность передачи сообщений между узлами. О поступлении сообщений объекты узлов информируются при помощи событий. Кроме того, объект «окружающая среда» является источником информации для процедуры ССА, выполняемой узлами БСС в рамках схемы CSMA/CA [6]. Радиоканал также выявляет происходящие коллизии.

Объекты узлов БСС должны обрабатывать поступающие события в зависимости от своего текущего состояния. Практически все поступающие события являются оповещениями о поступлении новых сообщений по радио или об истечении некоторого установленного ранее интервала времени. Исключение могут составлять некоторые служебные сообщения симулятора.

Обработка результатов симуляции. На протокол событий виртуальной БСС накладывается маска активных фаз, задаваемая параметрами периодичности, длительности активной фазы и величины интервала опережения. Протокол событий обрабатывается, в результате чего определяются показатели работы системы мониторинга на основе БСС: надежность и долговечность. Для определения долговечности используется заданная величина заряда источника питания. Также пользователю предоставляется возможность получения иной информации в виде отчетов о работе системы мониторинга с заданными параметрами активных фаз. Последовательность событий симуляции может быть экспортирована в текстовый файл.

Таким образом, обработка результатов симуляции позволяет найти значения показателей работы системы мониторинга: надежности и долговечности. Дополнительная информация может быть получена при помощи отчетов, в том числе содержащих информацию, диагностирующую причины потери результатов измерений в радиоканале.

Следствием обработки результатов симуляции может стать решение о необходимости изменения параметров БСС и проведении повторной симуляции. Могут быть изменены количество узлов, расположение маршрутизаторов, параметры дискретного режима. Этот процесс должен быть повторен необходимое число раз для получения удовлетворительных результатов.

Результаты симуляции. Результаты для надежности, полученные при симуляции БСС мониторинга психофизиологического состояния и координат космонавтов на борту МКС, показаны на рис. 3.

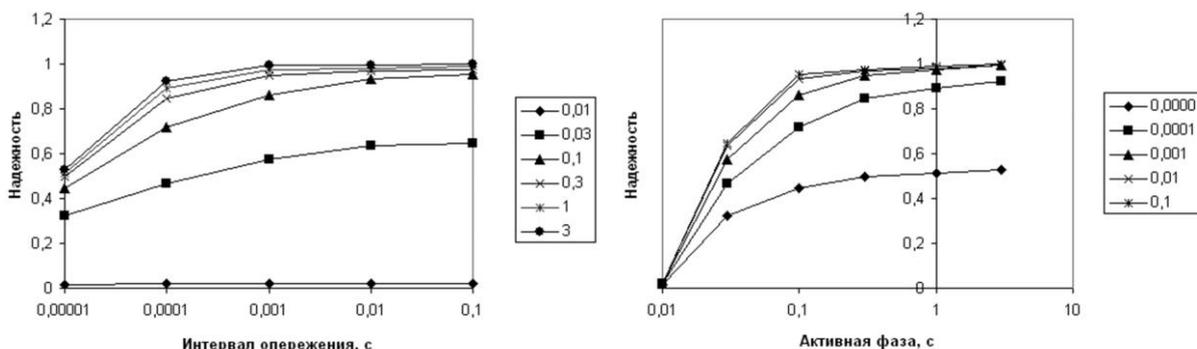


Рис. 3. Результаты симуляции: надежность БСС в зависимости от величины интервала опережения и длительности активной фазы.

Заключение. Приведенные в статье результаты симуляции позволяют сделать вывод об обоснованности предлагаемого подхода к проектированию и разработке многошлюзовых беспроводных самоорганизующихся сетей произвольной топологии, а также подтверждают адекватность и работоспособность математической модели [1, 2] для нахождения оптимальных параметров таких сетей с учетом основных факторов, определяющих условия их функционирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-08-01028а.

Список литературы

1. *Падалко С.Н., Терентьев М.Н.* Автоматизированное проектирование адаптивных дискретных беспроводных сенсорных сетей для космических систем.– Москва: Изд-во МАИ, 2013. – 128 с.
2. *Махорин А.О., Падалко С.Н., Терентьев М.Н.* Постановка задачи оптимизации параметров процедуры смены роли узлов многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе.– Научно-технический вестник Поволжья.– Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – № 5, с. 260-263.
3. *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.
4. *Филлипс Д., Гарсиа-Диас А.* Методы анализа сетей.— М.: Мир, 1984. — 496 с.
5. *G.S. Tseitin.* On the complexity of derivation in propositional calculus.//Studies in constructive mathematics and mathematical logic, 1968, v.2, pp. 56-62.
6. IEEE Standards 802.15.4. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). — IEEE Computer Society, 2006.

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 РАЗМЕЩЕНИЯ УЗЛОВ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Ключевой особенностью рассматриваемых в настоящей работе беспроводных самоорганизующихся сетей (БСС) является способность сохранять целостность/связанность их узлов в условиях изменения как конфигурации объекта обслуживания, на котором они размещены, так и радиопомех среды его функционирования. Названные условия особо характерны для аэрокосмических систем, подверженных как взаимным перемещениям их компонент, так и внешним воздействиям различного рода источников радиопомех. В связи с чем одним из основных назначений рассматриваемых БСС является обеспечение мониторинга аэрокосмических систем.

Решаемая в работе задача состоит в определении минимального количества и, соответственно, мест размещения узлов БСС из условий обеспечения заданного уровня надежности доставки информации от сенсоров сети до центра сбора и обработки информации.

Большинство известных подходов к решению такого рода задач основаны на эвристических алгоритмах, поэтому изменения в постановке задачи, связанные с вводом в рассмотрение дополнительных ограничений делают их неприменимыми. В статье рассмотрена постановка задачи размещения узлов многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе в классе линейных целочисленных моделей с двоичными переменными, которая одновременно обеспечивает возможности как модификации модели путем добавления новых ограничений, так и применение таких мощных средств оптимизации как ILOG CPLEX или IBM OSL.

Ключевые слова: Беспроводная самоорганизующаяся сеть, мониторинг космических объектов, оптимизация, целочисленное программирование.

Введение. Беспроводная самоорганизующаяся сеть (БСС) — распределённая сеть множества измерителей и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала [1]. Узлы БСС образуют территориально-распределённую систему сбора, обработки и передачи информации. Одной из целевых областей применения БСС является мониторинг наземных и орбитальных компонент аэрокосмических систем, включая задачи исследования других планет, за счёт возможностей расположения узлов сети в труднодоступных местах, оперативности развертывания и обслуживания, а также низкого энергопотребления узлов.

Названные преимущества во многом обеспечиваются за счёт способности БСС к самоорганизации, а именно: 1) адаптации маршрутов передачи сообщений к фактическому состоянию объекта обслуживания и БСС, 2) адаптации параметров функционирования БСС с целью обеспечения заданных показателей работы системы мониторинга на основе обратной связи, 3) смены роли узла (измеритель, маршрутизатор или шлюз) в зависимости от состояния состоянию объекта обслуживания и БСС [2].

Постановка задачи оптимизации. Задача размещения узлов в области мониторинга и определение роли каждого узла по своей природе относится к числу комбинаторных задач. Хотя для решения подобных задач к настоящему времени разработано достаточно большое

число эвристических алгоритмов (см. например [3] и [4]), их использование существенно зависит от специфических условий, присущих конкретным постановкам. Поэтому при изменении постановки задачи (например, при включении дополнительных условий) существующие эвристические алгоритмы, как правило, становятся непригодными. Кроме того, эвристические алгоритмы зачастую выдают решения, очень далекие от оптимальных.

В данной статье предлагается формулировать исходную комбинаторную задачу в формате задачи целочисленного линейного программирования с двоичными переменными. Такой подход имеет то преимущество, что он позволяет использовать существующие универсальные пакеты целочисленного программирования (например, ILOG CPLEX [5] и IBM OSL [6]) и допускает изменения формулировки задачи в весьма широких пределах.

Пусть V — множество узлов сети. В результате решения задачи размещения требуется определить координаты каждого узла сети в области мониторинга, что формально соответствует отысканию отображения

$$V \rightarrow F, \quad (1)$$

где F — область мониторинга. Положим, что область F разбита на непересекающиеся ячейки (подобласти):

$$F = \bigcup_{k=1}^N F_k, \quad F_k \cap F_l = \emptyset \quad \text{для всех } k \neq l. \quad (2)$$

В этом случае 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 следующему условию:

$$\sum_{k=1}^N z_{ik} = 1 \quad \text{для всех } i \in V. \quad (3)$$

Как уже было отмечено выше, адаптивность БСС достигается за счет смены роли узлов, которые (роли) также определяются в процессе решения задачи. С формальной точки зрения это эквивалентно отысканию отображения

$$V \rightarrow R, \quad (4)$$

где $R = \{И, М, Ш\}$ — множество ролей отдельного узла (И — измеритель, М — маршрутизатор, Ш — шлюз). Как и в случае отображения (1) данное отображение характеризуется двоичными переменными $y_{ir} \in \{0, 1\}$, $i \in V$, $r \in R$, которые удовлетворяют условию:

$$\sum_{r \in R} y_{ir} = 1 \quad \text{для всех } i \in V. \quad (5)$$

Использование переменных z_{ik} и y_{ir} позволяет формализовать условие покрытия области мониторинга следующим образом. Пусть $H_k \subseteq F$ — множество близлежащих ячеек, которые можно покрыть, если узел-измеритель расположен в ячейке F_k (под покрытием здесь понимается способность измерителя получать информацию о состоянии каждой ячейки, принадлежащей H_k). Заметим, что семейство множеств $H = \{H_k\}$ можно представить в виде заданной квадратной (0,1)-матрицы $H = (h_{jk})$, где $h_{jk} = 1$ означает, что $F_j \in H_k$. Пусть $t_i = y_{ir}$ при $r = И$, т. е. когда узел i является измерителем. Тогда $z_{ik} = 1$ и $t_i = 1$ означает, что узел i покрывает множество ячеек H_j , что с точки зрения матрицы H означает покрытие соответствующих строк $F_j \in H_k$ для всех $h_{jk} = 1$. Понятно, что условие покрытия всей области мониторинга означает покрытие всех строк матрицы H , и поэтому эквивалентно следующему псевдодобулевскому условию:

$$\sum_{i \in V} \sum_{k \in F} h_{jk} \& z_{ik} \& t_i \geq 1, \quad j \in F,$$

которое можно представить в виде линейного ограничения-неравенства:

$$\sum_{i \in V} \sum_{k \in F} u_{ijk} \geq 1, \quad j \in F, \tag{6}$$

где

$$u_{ijk} = h_{jk} \& z_{ik} \& t_i. \tag{7}$$

Использование преобразования Цейтина [7] с учетом двоичности всех переменных позволяет заменить систему логических условий (7) следующей эквивалентной системой линейных двусторонних неравенств:

$$0 \leq h_{jk} + z_{ik} + t_i - 3u_{ijk} \leq 1. \tag{8}$$

Перейдем теперь к условию связности сети. Рассмотрим для этого орграф $G = (V, E)$, где V — множество узлов сети, E — множество дуг, где $(i, j) \in E$ означает, что узел i может передавать сообщения узлу j . Заметим, что состав E зависит от относительного геометрического размещения узлов в области мониторинга, т. е. от вектора $z = (z_{ik})$. Связность сети означает, что каждый измеритель способен передавать сообщения хотя бы одному шлюзу либо непосредственно, либо через один или несколько маршрутизаторов. С точки зрения орграфа G это означает, что для каждого узла-измерителя должен существовать хотя бы один путь, ведущий в какой-либо узел-шлюз.

Для формализации условия связности сети наиболее подходящей является следующая система линейных ограничений сетевой модели [8], выражающих условия сохранения потока в каждом из узлов сети:

$$\sum_{(i,j) \in E} x_{ij} - \sum_{(j,i) \in E} x_{ij} = b_i, \tag{9}$$

где $x_{ij} \geq 0$ — величина потока вдоль дуги (i, j) , b_i — дивергенция потока в узле i . Случай $b_i = t_i = 1$ означает узел-измеритель, который с точки зрения сетевой модели является источником потока, а случай $b_i = 1 - y_{ir} = 0$ для $r = M$ означает узел-маршрутизатор. (Следует заметить, что система ограничений-равенств не включает условия для узлов-шлюзов, т. е. для стоков сети.) Известно [8], что с учетом неотрицательности величин потоков x_{ij} система (9) имеет допустимые решения тогда и только тогда, когда внешний поток, входящий в сеть через каждый из источников, может покинуть сеть хотя бы через один сток, т. е. когда выполняется сформулированное выше условие связности сети.

Существенной особенностью рассматриваемой модели является тот факт, что топология сети (множество дуг E) зависит от взаимного расположения узлов. Это связано с тем, что для передачи сообщений между узлами используются радиосигналы, мощность которых ограничена, поэтому передача сообщений возможна лишь в тех случаях, когда передающий и принимающий узлы находятся (геометрически) достаточно близко друг к другу, т. е. когда расстояние d_{ij} между узлами i и j не превышает некоторой заданной величины d_{\max} . Поэтому, чтобы оставаться в рамках линейной модели с двоичными переменными, предлагается моделировать геометрическое расстояние между узлами следующим образом.

Так как разбиение (2) предполагается заданным, то расстояние между ячейками F_k и F_l можно определить заранее как

$$\rho_{kl} = \max_{u \in F_k, v \in F_l} \|u - v\| \tag{10}$$

где $\|\square\|$ — подходящая норма (длина) вектора. 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 $z_{jl}=1$, т. е. когда:

$$t_{ijkl} = z_{ik} \& z_{jl} = 1. \quad (11)$$

или после преобразования Цейтина:

$$0 \leq z_{ik} + z_{jl} - 2t_{ijkl} \leq 1. \quad (12)$$

С помощью переменных t_{ijkl} оценку расстояния между узлами i и j можно получить как оценку расстояния между соответствующими ячейками:

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N t_{ijkl}. \quad (13)$$

Это позволяет определить условие для пропускной способности дуги (i, j) :

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } r_{ij} \leq r_{\max} \\ 0, & \text{если } r_{ij} > r_{\max} \end{cases}, \quad (14)$$

которое можно представить в виде линейного неравенства:

$$r_{\max} - M c_{ij} \leq r_{ij} \leq r_{\max} + M(1 - c_{ij}), \quad (15)$$

где M — так называемое «большое M » (подходящей оценкой для M может служить диаметр всей области мониторинга F). С учетом условия (14) оргграф $G = (V, E)$ можно считать полным, так как $c_{ij} = 0$ по существу означает отсутствие соответствующей дуги.

Выводы. Поставлена задача оптимизации расположения узлов многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии, для чего построена математическая модель такой сети, относящаяся к классу линейных целочисленных моделей с двоичными переменными. Данное обстоятельство делает возможным применение широкого спектра численных методов решения этого класса задач, для отыскания допустимых и оптимальных решений, а также свободное расширение модели при необходимости учета специфических факторов, связанных с изменениями как конфигурации объекта мониторинга, так и внешних условий его функционирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-08-01028а.

Список литературы

1. Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Автоматизированное проектирование адаптивных дискретных беспроводных сенсорных сетей для космических систем.— Москва: Изд-во МАИ, 2013. — 128 с.
2. Махорин А.О., Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Постановка задачи оптимизации параметров процедуры смены роли узлов многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе.— Научно-технический вестник Поволжья.— Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. — № 5, с. 260-263.
3. I. Papadimitriou, L. Georgiadis. Minimum-energy broadcasting in wireless networks.//Mobile Networks and Applications, 2006, v. 11, iss. 3, pp. 361-375.
4. K.M. Alzoubi, P.-J. Wan, O. Frieder. Distributed heuristics for connected dominating sets in wireless ad hoc networks.//Journal of Communications and Networks, 2002, v. 4, pp. 22-29.
5. ILOG CPLEX 11.0 User's Manual. — ILOG S. A., 2008.
6. Optimization Subroutine Library Guide and Reference SC23-0519.— IBM Corp., 1996.
7. G. S. Tsitin. On the complexity of derivation in propositional calculus.//Studies in constructive mathematics and mathematical logic, 1968, v.2, pp. 56-62.
8. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей.— М.: Мир, 1984. — 496 с.

05.07.02

**А.Л. Медведский д.ф.-м.н., Г.В. Федотенков к.ф.-м.н.,
А.А. Матушкин к.т.н., В.В. Терентьев**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
mdv66@mail.ru, greghome@mail.ru, radon@inbox.ru, terentyev@mail.ru

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ АЭРОУПРУГОГО ТОРМОЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ СПУСКЕ В АТМОСФЕРЕ

Проведен расчет на прочность нового перспективного космического аппарата, оснащенного системой аэроупругого торможения. Разработаны расчетные схемы, предложена и реализована методика расчета основных и дополнительных аэроупругих тормозных устройств при входе и движении аппарата в плотных слоях атмосферы. Предложенные методы обладают универсальностью и могут быть применены к расчету любых спускаемых аппаратов с аэроупругими тормозными устройствами.

Ключевые слова: спускаемый космический аппарат, системы аэроупругого торможения, расчетная схема, расчет на прочность, нелинейные системы уравнений, метод конечных элементов.

Введение. Возвращение на Землю космических аппаратов является одним из самых актуальных и перспективных направлений исследований в аэрокосмической отрасли. Большую актуальность приобретают разработки систем аэродинамического торможения с использованием надувных элементов конструкции [1]. Наиболее опасным с точки зрения интенсивности воздействия внешних нагрузок на спускаемый аппарат (СА), оснащенный системой аэроупругих тормозных устройств (АТУ) является этап аэродинамического торможения при входе и движении в атмосфере. В данной работе рассмотрена конструктивная схема, для которой предложена и реализована методика расчета на прочность системы аэроупругого торможения спускаемого космического аппарата.

Конструктивная схема СА с АТУ. Торможение спускаемого аппарата в атмосфере Земли целесообразно производить в два этапа:

- первый – происходит в верхних слоях атмосферы и обеспечивает торможение аппарата до скорости ниже сверхзвуковой;
- второй – обеспечивает торможение аппарата вблизи поверхности до скорости, соответствующей требованиям безопасной и безаварийной посадки.

Целесообразно разделить элементы системы спуска на два отдельных блока. Первый блок должен включать в себя элементы лобового экрана с теплозащитой, этот блок отвечает за этап основного торможения при входе в атмосферу и спуске в ее верхних слоях. Торможение спускаемого аппарата на этом этапе осуществляется до скорости ниже сверхзвуковой. Второй блок должен включать в себя элементы для дозвукового движения при торможении в плотных слоях атмосферы Земли. На этом этапе торможение производится до приемлемой скорости при посадке. Конструктивное исполнение исполнительных элементов может быть различно, однако для рассматриваемого варианта определено общее требование к расположению этих блоков: первый блок должен располагаться на лобовой части аппарата, спускающегося в атмосферу Земли; второй блок должен располагаться на задней части аппарата.

На рис. 1а представлена конфигурация общего вида СА с АТУ, когда основное АТУ (ОАТУ) развернуто в рабочее положение перед входом в атмосферу для основного аэродинамического торможения при спуске в ее верхних слоях до скорости ниже сверхзвуковой.

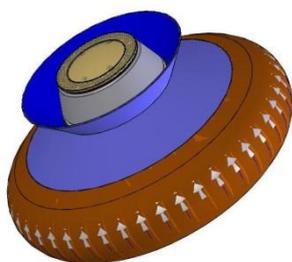


Рис. 1а.



Рис. 1б.



Рис. 1в.

На рис. 1б представлена конфигурация общего вида СА с АТУ в рабочем положении при достижении дозвуковой скорости, когда дополнительное АТУ (ДАТУ) развернуто для продолжения аэродинамического торможения в момент непосредственно перед отделением ОАТУ с теплозащитным покрытием [2]. На рис. 1в представлена конфигурация общего вида СА с ДАТУ (после отделения ОАТУ) в процессе дальнейшего аэродинамического торможения в атмосфере на дозвуковых скоростях до достижения заданной скорости для посадки на поверхность планеты (Земли). Посадочное устройство находится в положении, когда внедряемый конус выдвинут для контакта с поверхностью.

Нагрузки при движении СА с АТУ в атмосфере. Во время движения в атмосфере Земли СА с АТУ воспринимает нагрузку от напора набегающего потока воздуха. Величина этой нагрузки существенно зависит как от формы обтекаемого газом аппарата, так и изменяющегося по времени спуска скоростного (динамического) напора воздуха q^* .

Форма ОАТУ, обеспечивающая спуск аппарата на участке высокой скорости, соответствующей скорости входа V_e спускаемого аппарата в атмосферу на высоте H_e , равной 120 км, показана на рис. 1а.

Высота, на которой достигается максимум величины q_m^* и время ее достижения практически не зависит от скорости входа V_e , а зависит только от угла входа φ_e . Чем круче траектория входа, тем выше скорость спуска аппарата, какую бы начальную скорость он не имел.

Прочность проектируемого опытного образца при движении в атмосфере Земли будет рассчитываться для случая максимально возможной аэродинамической нагрузки.

Раскрытие дополнительного аэроупругого тормозного устройства согласно схемы посадки СА с АТУ на земную поверхность осуществляется при достижении дозвуковой скорости движения аппарата, которой соответствует число Маха $M = 0,2$.

Расчет прочности основного аэроупругого тормозного устройства. ОАТУ, разворачиваемое в рабочее положение путем подачи газа в полость герметичной оболочки АТУ, обуславливает появление на его лобовой поверхности зоны повышенного давления. Результирующей этой эпюры сил составляет аэродинамическую силу, вызывающую торможение аппарата в атмосфере.

На рис. 2 приведен подробный вид конструкции ОАТУ с силовыми элементами крепления.

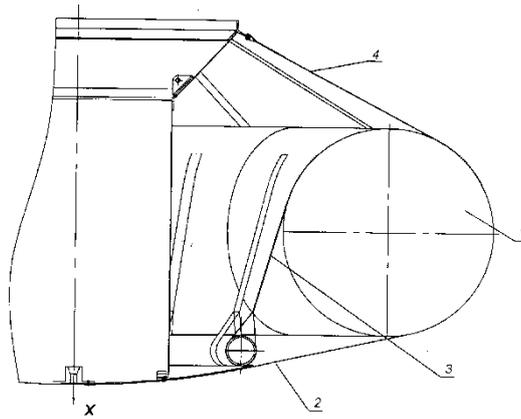


Рис. 2- конструкции ОАТУ с силовыми элементами крепления

Торовая оболочка 1 связана с жестким аэродинамическим экраном мягкой конической оболочкой 2 и системами из 12-ти внутренних лент 3 и 12-ти наружных лент 4. Коническая оболочка и ленты подходят к торовой оболочке по касательной и связаны с ней. Все перечисленные элементы выполнены из высокомодульного тканого материала СВМ.

Основной расчетный случай для ОАТУ – действие аэродинамического давления. При расчете эпюра заменена двумя участками с постоянными значениями давлений: от точки 1 до центра кругового сечения тора; от центра сечения до края ОАТУ.

Данные значения давлений являются максимальными для соответствующего участка и, кроме того, взяты из эпюры для несимметричного обтекания, поэтому являются консервативными. Коэффициент безопасности при расчете надувных конструкций принимается равным $f = 1,5$.

В расчете принят ряд предположений и допущений, основные из которых состоят в следующем: тор считается правильным телом вращения с круговым сечением, т.е. особенности раскроя оболочки не учитываются; сечение тора остается круглым и не изменяет своего радиуса под действием аэродинамической нагрузки; коническая мембрана деформируется по дуге окружности с образованием продольных складок, что отражает физически наблюдаемую картину; ленты внутренние и наружные условно заменены оболочками с приведенным модулем упругости [3].

На рис. 3 показана принятая расчетная схема исходного и деформированного состояния ОАТУ.

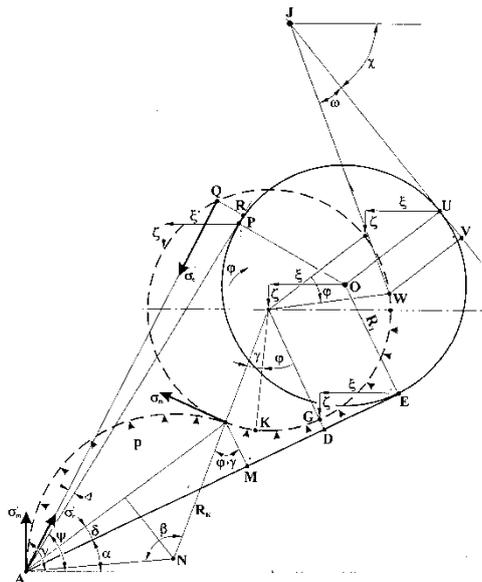


Рис. 3- расчетная схема исходного и деформированного состояния ОАТУ

В деформированном состоянии несущий тор ОАТУ имеет линейное смещение по радиусу ξ , по продольной оси ζ и угол закручивания φ . Исходная образующая конической оболочки АЕ, деформируясь по действием аэродинамического давления, преобразуется в двойную

дугу $AF + FK$. На дуге FK , заданной углом γ , коническая оболочка облегает торцовую поверхность. Свободная дуга AF в точке начала контакта F является касательной к поверхности тора. Таким образом, четыре параметра ξ , ζ , φ и γ полностью определяют деформированное состояние ОАТУ.

Дополнительно введем ряд обозначений, приведенных на рис. 4: $L=ae$ – длина образующей конической мембраны в исходном состоянии; $S=ar$ – длина внутренних лент в исходном состоянии; $T=jv$ – длина наружных лент в исходном состоянии; E_M, e_c, e_j, e_m – модули упругости мембраны, внутренних и наружных лент и торцовой оболочки; ρ_e, ρ_p, ρ_u – расстояния от продольной оси нту до точек связи мембраны, внутренних и наружных лент с торцовой оболочкой; ρ_m – радиус вращения тора; R_t – радиус сечения тора; R_k – радиус дуги AF .

Полученная в итоге система уравнений относительно неизвестных:

$\xi, \zeta, \varphi, \gamma, \delta, am, ar, jv, \sigma_m, \sigma_c, \sigma_j, \rho_f$ полностью определяет напряженно-деформированное состояние ОАТУ. Данная система является нелинейной. Для ее решения разработан и реализован с помощью программного пакета *Matcad 8* численный алгоритм.

Расчеты показывают, что для приведенных исходных данных, а также при варьировании жесткостных характеристик конструкции и параметров нагружения в достаточно широких пределах напряжения во внешних связях оказываются сжимающими, что невозможно в силу их гибкости. Растягивающие напряжения небольшой величины в этих связях появляются лишь при очень малых значениях давления p_2 . Поэтому в дальнейших расчетах для того, чтобы не перестраивать систему уравнений, модуль упругости материала внешних связей полагался равным малой величине (конкретно принималось $e_j=1$). В таблице 1 приведен вектор решения с учетом данного замечания.

Таблица 1- Вектор решения.

ξ	ζ	φ	γ	AM	AR	JV	σ_m	σ_c	σ_j	ρ_f
0.098	0.005	0.006	0.245	15.31	19.75	24.69	3.377	2.013	0	38.05

Расчет прочности дополнительного аэроупругого тормозного устройства Расчетная силовая схема дополнительного аэроупругого тормозного устройства, как показано на рис. 4 состоит из надувной торцовой оболочки и сегментальной оболочки, образующая которой является дугой окружности, касательной в т. А к горизонтальной плоскости.

Сегментальная оболочка воспринимает растяжением основную часть аэродинамической нагрузки и является, фрагментом тора. Такая форма выбрана в связи с тем, что в торцовой оболочке с круговым сечением при нагружении ее внутренним давлением не возникает сжимающих напряжений.

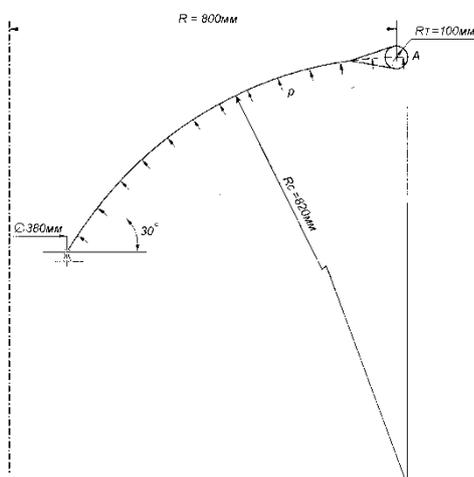


Рис. 4- Схема силовой нагрузки дополнительного аэроупругого тормозного устройства

Материалом надувного тора является высокомодульная ткань СВМ, материалом сегментальной оболочки является капроновая ткань.

Общая устойчивость торовой оболочки (считаем, как шпангоут радиусом $R = 90$ см) определяется из выражения и составляет:

$$\sigma_{кр} = \frac{3EJ}{R^3} = \frac{3 \cdot 100 \cdot \pi \cdot 10^3}{90^3} = 18 \frac{кг}{см^2} \quad (1)$$

Это также соответствует представлению, что общая устойчивость обеспечивается с большим запасом.

Максимальное меридиональное растяжение в сегменте имеет место на его внутреннем контуре.

Его можно оценить по формуле для торовой оболочки:

$$\sigma_m = \frac{2\lambda + \sin \phi}{2\lambda + 2 \sin \phi} p R_c \quad \text{где } \lambda = \frac{R}{R_c} \cong 1, \quad \phi = 60^\circ \quad (2)$$

Заключение. Предложена конструктивная схема нового перспективного спускаемого космического аппарата, оснащенного системой аэроупругих тормозных устройств. Определены нагрузки, действующие на аппарат в условиях спуска и торможения в плотных слоях атмосферы. Предложены расчетные схемы, разработана и реализована методика расчета на прочность системы аэроупругого торможения одного из возможных вариантов спускаемого аппарата данного типа при его входе и движении в атмосфере. Разработанные расчетные схемы, методы и подходы могут быть практически без изменений применены к расчету на прочность других спускаемых космических аппаратов, оснащенных системами аэроупругих тормозных устройств, при движении в плотных слоях атмосферы планет и спутников.

Работы выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в ходе реализации комплексного проекта, шифр 2012-218-03-062.

Список литературы

1. Финченко В.С., Пичхадзе К.М. Основы проектирования надувных космических конструкций. Раздел в монографии «Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований», под ред. В.В. Ефанова, К.М. Пичхадзе, М.: Изд-во «НПО им. С.А. Лавочкина». - 2012. - С. 466-527.
2. Алифанов О.М., Иванков А.А., Нетелев А.В., Финченко В.С. Применение аэроупругих устройств с гибкой тепловой защитой для торможения аппаратов в атмосфере планеты. // Тепловые процессы в технике. 2014. Т. 3. № 5. С. 230–240.
3. Новожилов В.В., Черных К.Ф., Михайловский Е.И. Линейная теория тонких оболочек. - Л.: Политехника, 1991. - 656 с.: ил.

05.07.02

А.Л. Медведский д.ф.-м.н., Г.В. Федотенков к.ф.-м.н., В.В. Терентьев, С.О. Фирсюк

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
mdv66@mail.ru, greghome@mail.ru, terentyev@mail.ru, iskramai@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОСАДОЧНОГО УСТРОЙСТВА ПЕРСПЕКТИВНОГО СПУСКАЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ ПОСАДКИ НА ГРУНТ

На основе метода конечных элементов проведено моделирование напряженно-деформированного состояния посадочного устройства перспективного спускаемого космического аппарата при контакте с грунтом. Предложена методика и проведен расчет на прочность и устойчивость корпусных элементов посадочного устройства. Предложенная методика обладает универсальностью и может быть применена к расчету аналогичных спускаемых аппаратов с оценкой прочности и устойчивости при посадке на грунт.

Ключевые слова: *спускаемый космический аппарат, посадочное устройство, удар о грунт, нестационарное напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, расчет на прочность, расчет на устойчивость.*

Введение. В последнее время большую актуальность приобретают разработки систем аэродинамического торможения спускаемых аппаратов без использования реактивной тяги. Одним из наиболее опасных с точки зрения интенсивности воздействия внешних нагрузок на спускаемый аппарат (СА), оснащенный системой аэроупругих тормозных устройств (АТУ) и дополнительных аэроупругих тормозных устройств (ДАТУ) является этап ударного взаимодействия при контакте с грунтом [1]. В данной работе предложена и реализована методика расчета на прочность корпусных элементов посадочного устройства перспективного спускаемого космического аппарата с системой АТУ при его жесткой посадке на грунт.

Конструкция посадочного устройства. В качестве посадочного устройства на изделии установлена система амортизации с внедряемым конусом, которая автоматически выдвигается перед посадкой, обеспечивающая смягчение удара носовой частью аппарата на этапе касания твердой поверхности в момент приземления.

Силовую конструкцию посадочного устройства образует набор тонкостенных оболочек вращения, подкрепленных поперечным силовым набором – торцевыми фланцами и промежуточными кольцевыми поясами.

На рисунке рис. 1 показаны основные элементы системы амортизации посадочного устройства. Внедряемый конус с наконечником стыкуется через упругое стопорное кольцо с наружным корпусом посадочного устройства. Во внутреннем корпусе посадочного устройства с помощью переходного силового кольца закреплены шесть кронштейнов системы амортизации, на которых оборудованы соответственно шесть сминаемых тонкостенных труб-амортизаторов.

Приведение системы амортизации в рабочее положение заключается в подрыве пироболта, который освобождает пружинную систему, с помощью которой выдвигается и фиксируется внедряемый конус относительно внешнего цилиндрического корпуса металлического контейнера с полезной нагрузкой.

В момент касания поверхности внедряемый конус с ввернутым в него наконечником внедряется в грунт, за счёт чего происходит поглощение кинетической энергии СА и гашение его вертикальной скорости. Происходит перемещение приборного контейнера на

длину хода с частичной деформацией сминаемых труб-амортизаторов, обеспечивая поглощение кинетической энергии для снижения уровня перегрузок бортовой аппаратуры [2, 3]. Амортизация происходит за счет пластической деформации – обжатия шести сминаемых тонкостенных труб-амортизаторов, закрепленных на внутреннем цилиндрическом корпусе. В результате обеспечивается полное и безопасное для аппаратуры гашение скорости при посадке.

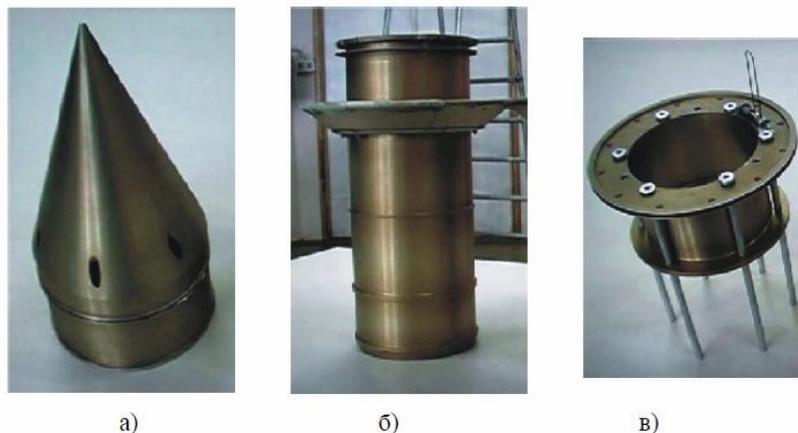


Рис. 1. -Основные элементы системы амортизации ПУ.
а – внедряемый конус; б – внешний корпус ПУ;
в – внутренний корпус со сминаемыми трубами-амортизаторами

Нагрузки, действующие на спускаемый аппарат при контакте с грунтом. Передача инерционных нагрузок на элементы конструкции СА осуществляется:

- от модуля аппаратуры на внутренний корпус – через шестиболтовый фланцевый стык;
- от внутреннего корпуса на наружный – через систему амортизации и силовое кольцо;
- от наружного корпуса на внедряемый конус – через стопорное кольцо.

Инерционные нагрузки от ДАТУ передаются на промежуточный пояс наружного корпуса через шестиболтовый фланцевый стык.

Материал корпусных элементов конструкции – алюминиевый сплав АМг-6 с характеристиками:

$\rho = 2.64 \text{ г/см}^3$ – плотность; $E = 70 \text{ ГПа}$ – модуль упругости; $\sigma_{0.2} = 160 \text{ МПа}$ – предел текучести; $\sigma_b = 320 \text{ МПа}$ – предел прочности.

В качестве расчетного для конуса ДАТУ выбран случай действия инерционных нагрузок при входе аппарата в атмосферу с величиной расчетной осевой перегрузки $N_p = 30$.

При этом принятая в расчете масса ДАТУ принята равной 2.3 кг.

Для остальных элементов силовой конструкции – наружного и внутреннего корпусов, внедряемого конуса – в качестве расчетного выбран случай действия осевых инерционных сил при внедрении в соответствии с диаграммой «глубина внедрения – равнодействующая инерционная сила».

При соприкосновении посадочного устройства Изделия с земной поверхностью, его конструкция испытывает ударную нагрузку и далее нагружается силой сопротивления среды, в которую проникает конус ПУ.

В качестве расчетного варианта принимается следующая модель грунта: сыпучий грунт; грунт средней плотности; скальный грунт. Характер движения наконечника ПУ при внедрении в грунт определяется вертикальной и горизонтальной скоростями подхода: вертикальная скорость 9.05 м/с, горизонтальная скорость 5.0 м/с.

Корпус аппарата массой 6 кг (без тора и соединительной ткани ДАТУ) рассматривается как абсолютно жесткое тело, внутри которого на продольной амортизации подвешен поверхностный модуль массой 4 кг. В соответствие с выбранными параметрами системы амортизации сила в амортизаторе не превышает 16 кН.

Конечно-элементные модели корпусных элементов посадочного устройства. Расчет прочности элементов конструкции поверхностного модуля выполнен методом конечных элементов в перемещениях с использованием программного комплекса ANSYS версии 5.6.2 [4].

Конечно-элементному анализу подвергнуты наружный и внутренний корпуса, внедряемый конус с наконечником и конус ДАТУ.

На рис. 2 представлены конечно-элементные (FEM) модели узлов и принятые в расчете условия нагружения и закрепления силовой конструкции посадочного устройства

Модели выполнены с использованием двадцатиузловых элементов сплошного тела SOLID 95 с тремя поступательными степенями свободы в узле и восьмиузловых элементов тонкой упругой оболочки SHELL93 с шестью степенями (три поступательные и три вращательные) свободы в узле (элементы второго порядка). При моделировании использована осевая симметрия конструкции и нагружения.

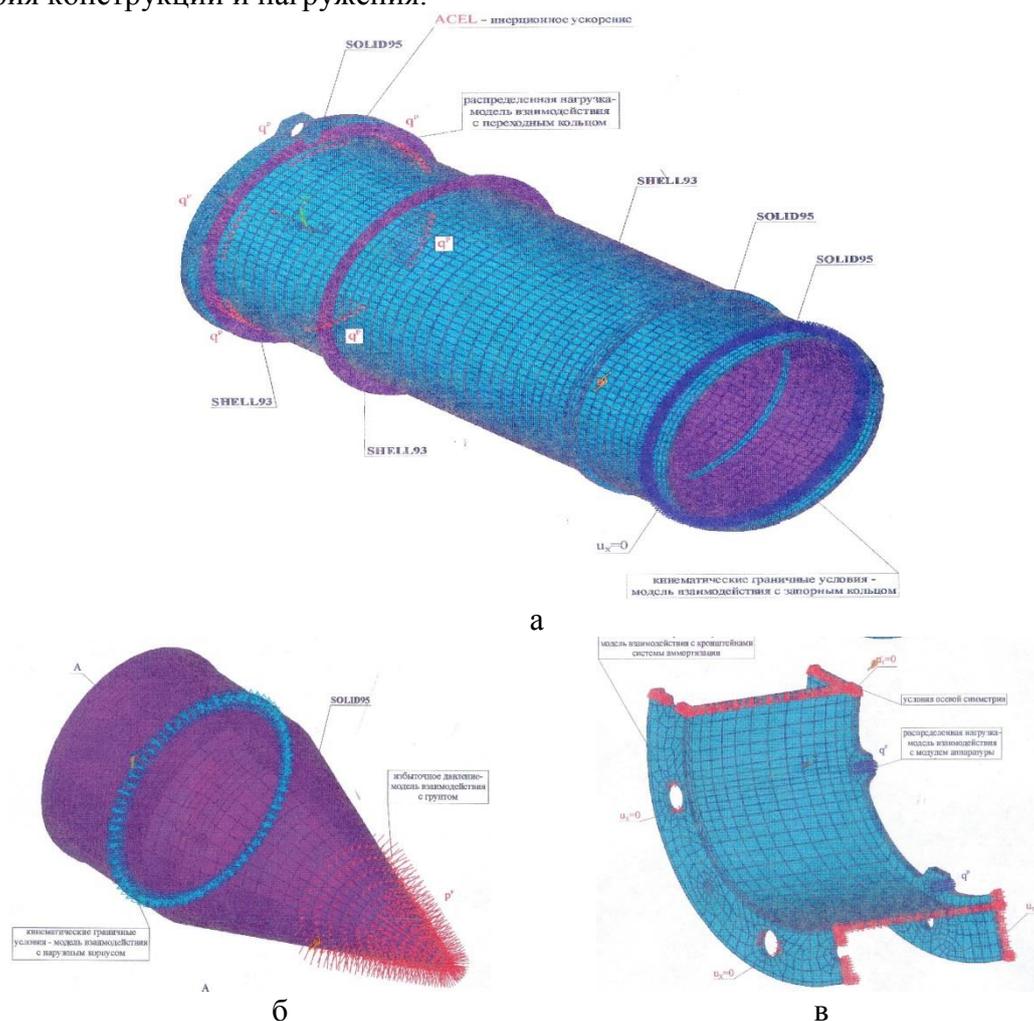


Рис.2- Конечно элементные модели системы амортизации ПУ:

а – внешний корпус ПУ; б – внедряемый конус; в – внутренний корпус

В качестве граничных рассматривались условия силового и кинематического взаимодействия узлов конструкции, а нагрузка представлена инерционно-массовыми (через плотность материала и инерционное ускорение) и распределенными силами и избыточным давлением (модель взаимодействия с грунтом).

Расчет и анализ результатов. На основании анализа результатов численного моделирования нагружения внедряемого конуса посадочного устройства в момент его внедрения в грунт следует, что расчетными для него являются:

- случай действия максимальной осевой силы $P_{xmax} = 114.6 \text{ кН}$, внедрение на глубину 140 мм, при котором в конструкции действуют максимальные напряжения – случай 1;
- случай действия осевой силы $P_x = 112.7 \text{ кН}$ и глубина внедрения составляет 149 мм, при

котором возможна потеря устойчивости конуса по низшей форме – случай 2 .

На рис. 3а представлена диаграмма распределения эквивалентных (по Мизесу) напряжений, действующих на коническую часть внедряемого конуса, для случая 1 нагружения.

Величина расчетного максимума: $(\sigma_{\text{ЭКВ}})_{\text{max}} = 173.5 \text{ МПа}$.

Расчетный коэффициент запаса прочности: $k = \sigma_{\text{В}} / (\sigma_{\text{ЭКВ}})_{\text{max}} = 320 / 173.5 = 1.8$.

Величина расчетного коэффициента запаса по устойчивости для случая 2 конической части составляет: $(\eta_{\text{уст}})_{\text{теор}} = \text{ФАСТ} = 2.47$.

Фактический коэффициент запаса по устойчивости с учетом геометрической нелинейности – решение нелинейной задачи с учетом больших отклонений составляет: $\eta_{\text{уст}} = 2.1$ [5].

Это свидетельствует, что прочность внедряемого конуса обеспечена.

Расчетным для внутреннего корпуса является случай действия осевой инерционной силы $P_x = 20 \text{ кН}$, прикладываемой к нему со стороны фланца крепления модуля аппаратуры в момент торможения последнего на трубах- амортизаторах. Величина действующей силы рассчитана из условия массы модуля, равной 4 кг.

На рис. 3в представлена диаграмма эквивалентных (по Мизесу) напряжений, действующих в корпусе внутреннем при данном нагружении. Величина расчетного максимума составляет: $(\sigma_{\text{ЭКВ}})_{\text{max}} = 257.2 \text{ МПа}$.

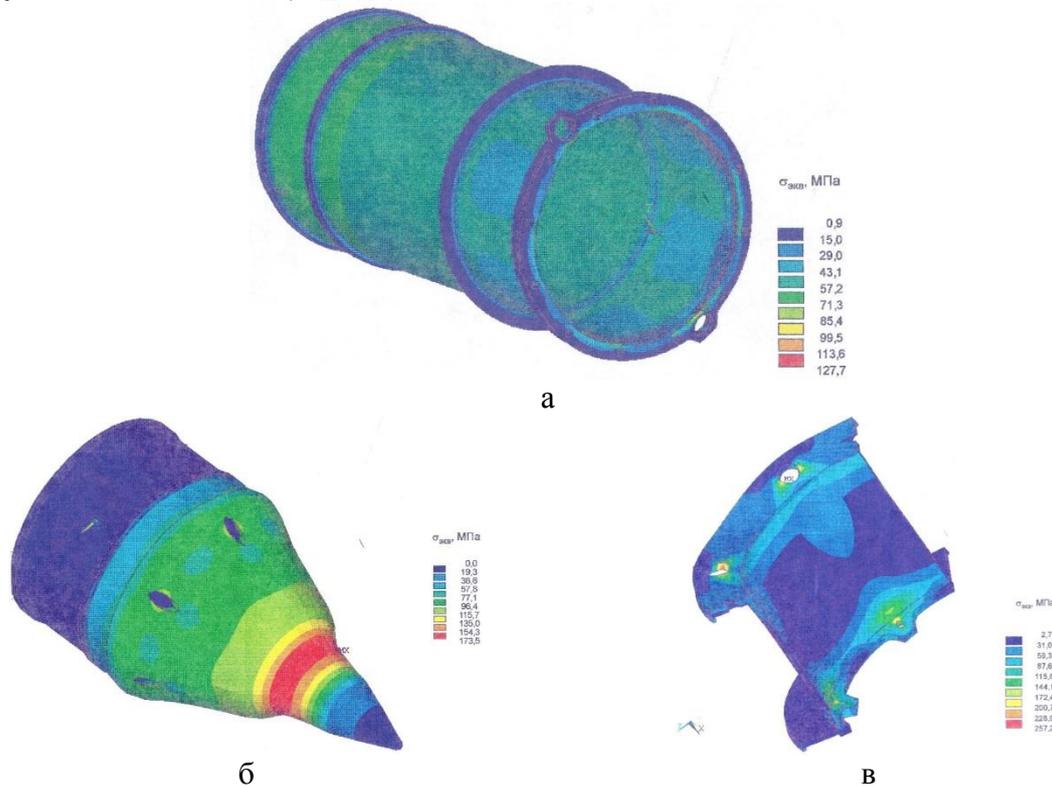


Рис. 3- Диаграмма распределения эквивалентных (по Мизесу) напряжений
 а - наружном корпусе; б - конической части внедряемого конуса, для случая 1 нагружения;
 в - корпусе внутреннем

Расчет выполнен по запасу прочности, поскольку не учитывает контактного взаимодействия фланцев корпуса и модуля, подкрепляющего воздействия на фланец корпуса кронштейнов системы амортизации.

Расчетный коэффициент запаса прочности:

$$k = \sigma_{\text{В}} / (\sigma_{\text{ЭКВ}})_{\text{max}} = 320 / 257.2 = 1.24.$$

Таким образом, прочность внутреннего корпуса обеспечена.

Далее рассматривается соответствие параметров наружного корпуса требованиям к его прочности.

Расчетным для наружного корпуса является случай действия инерционных сил со стороны прикрепленных к нему узлов в момент внедрения.

Величина максимальной равнодействующей осевой силы составляет:

$$P = P_{x \max} - \frac{P_{x \max}}{M_{\Sigma}} M_{\text{экс}} = 114.7 - \frac{114.7}{9.05} * 1.65 = 93.71 \text{ кН} \quad (1)$$

На рис. 3а представлена диаграмма распределения эквивалентных (по Мизесу) напряжений, действующих в наружном корпусе при расчетном нагружении. Величина расчетного максимума составляет:

$$(\sigma_{\text{экс}})_{\max} = 127.7 \text{ МПа.}$$

Расчетный коэффициент запаса прочности составляет:

$$k = \sigma_{\text{в}} / (\sigma_{\text{экс}})_{\max} = 320 / 127.7 = 2.50.$$

Для низшей возможной формы потери устойчивости корпуса при действии расчетной нагрузки (решение задачи на собственные значения – линейное решение) величина расчетного коэффициента запаса по устойчивости составляет: $(\eta_{\text{уст}})_{\text{теор}} = \text{ФАСТ} = 12.9$.

Коэффициент ослабления по устойчивости с учетом качества изготовления и начальных несовершенств для сжатой цилиндрической оболочки определяется по формуле и составляет:

$$k = \frac{1}{0.605 * \pi} \sqrt[8]{\left(\frac{100 * \delta}{R}\right)^3} = \frac{1}{0.605 * \pi} \sqrt[8]{\left(\frac{100 * 0.2}{10.8}\right)^3} = 0.66 \quad (2)$$

Следовательно, прочность корпуса наружного обеспечена.

Таким образом, расчетным путем показано, что выбранные параметры конструкции элементов СА с НТУ и ожидаемые условия эксплуатации опытного образца с достаточно большим запасом обеспечивают его прочность при проведении лётных испытаний.

Заключение. На основе метода конечных элементов предложена и реализована методика моделирования напряженно-деформированного состояния корпусных элементов посадочного устройства перспективного спускаемого космического аппарата в условиях посадки на грунт. Проведены расчеты на прочность и устойчивость. Предложенная методика может быть практически без изменений применена к расчету на прочность аналогичных спускаемых космических аппаратов, оснащенных системами аэроупругих тормозных устройств, при посадке на грунтовые поверхности планет и спутников.

Работы выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в ходе реализации комплексного проекта, шифр 2012-218-03-062.

Список литературы

1. *Медведский А.Л.* Сверхзвуковой этап взаимодействия упругого однородного изотропного шара и абсолютно жесткой преграды// Вестник Саратовского государственного технического университета. №2 (38), вып. 1, 2009, С. 38-49.
2. *Горшков А.Г., Медведский А.Л., Тарлаковский Д.В., Федотенков Г.В.* Нестационарные контактные задачи с подвижными границами для деформируемого тела и полупространства// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2000. №3. с. 41- 45.
3. *Вербицкий А.Б., Медведский А.Л., Рабинский Л.Н.* Моделирование процессов термодеструкции средствами программного комплекса Ansys// Математическое моделирование в механике деформируемых тел и конструкций. Методы граничных и конечных элементов. Труды XXII Международной конференции. – СПб.: 24 – 27 сентября 2007 г. Т. 2. – СПб.: ООО «НИЦ МОРИНТЕХ», 2007. – С. 129 – 131.
4. *Басов К.В.* ANSYS: Справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
5. *Садырин А.И.* Модели накопления повреждений и критерии разрушения конструкционных упругопластических материалов при динамическом нагружении// Проблемы прочности и пластичности. – Вып. 74, 2012. – С. 28-39.

05.07.09

Мин Тейн

Московский Авиационный Институт, Аэрокосмический факультет,
кафедра космических систем и ракетостроения, Москва, minntheino@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ТРАЕКТОРИИ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА СИСТЕМУ ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИХ ОРБИТ

В статье предлагается вариант выведения космического аппарата на систему рабочих гелиоцентрических орбит с целью изучения Солнца. Космический аппарат делает один или несколько витков вокруг Солнца на каждой орбите из этой системы. Эти орбиты имеют относительно небольшой радиус перигелия и большое наклонение. При выведении космического аппарата на систему таких орбит применяется транспортная космическая система с большим запасом характеристической скорости. Для уменьшения требуемой характеристической скорости используется последовательность гравитационных маневров у Земли и Венеры.

Ключевые слова: космический аппарат, исследование Солнца, схема полета, гравитационный маневр, гелиоцентрическая орбита.

Введение

В рамках проводящегося в России проекта «Интергелио-Зонд» создается космический аппарат (КА), предназначенный для изучения внутренней гелиосферы Солнца с близких расстояний и из внеэклиптических положений КА на гелиоцентрической орбите [1]. В данной статье предлагается использовать систему рабочих гелиоцентрических орбит, на каждой из которых космический аппарат делает один или несколько оборотов вокруг Солнца. Эти орбиты имеют относительно небольшой радиус перигелия и большое наклонение. КА переходит с одной орбиты на другую за счет пассивного гравитационного маневра у Венеры, что позволяет не использовать маршевую двигательную установку. Использование гравитационных маневров у Земли и Венеры дает возможность уменьшить требуемую характеристическую скорость. В исследованиях, представленных ранее [2, 4, 5], транспортная космическая система включает электроракетную двигательную установку, а в настоящей работе транспортная космическая система базируется только на химических двигательных установках. В отличие от работы [3], в данной работе предлагается иная схема полета (Земля - Венера - Земля - Венера) при выведении космического аппарата на первую рабочую орбиту.

1. Оптимизация траектории перелета Земля - Венера – Земля – Венера с заданной величиной гиперболического избытка скорости при втором подлете КА к Венере

Критерий оптимизации: минимизация суммарного импульса скорости [3]:

$$\min f(X) = dVs + dsm1 + dVgr1 + dsm2 + dVgr2 + dsm3 + dVgr3$$

dVs - требуемый импульс скорости при старте с низкой околоземной орбиты; $dsm1$ - первый дополнительный импульс скорости в глубоком космосе на участке Земля - Венера; $dVgr1$ - импульс скорости при гравитационном маневре у Венеры; $dsm2$ - второй дополнительный импульс скорости в глубоком космосе на участке Венера-Земля; $dVgr2$ - импульс скорости при гравитационном маневре у Земли; $dsm3$ - третий дополнительный импульс скорости в глубоком космосе на участке Земля-Венера; $dVgr3$ - импульс скорости при втором гравитационном маневре у Венере.

X – вектор выбираемых характеристик оптимизируемого маршрута:

$$X = [to, V_{\infty 1+}, tds1, T1, V_{\infty 2+}, tds2, T2, V_{\infty 3+}, tds3, T3].$$

Он включает: to - дата старта; $V_{\infty 1+}$ - вектор гиперболического избытка скорости при отлёте от Земли; $tds1$ - момент осуществления импульса скорости на первом перелете

Земля - Венера; $T1$ - время перелёта Земля - Венера; $V_{\infty 2+}$ - вектор гиперболического избытка скорости после гравитационного маневра Венеры; $tdsm2$ - момент осуществления импульса скорости на перелете Венера - Земля; $T2$ - время перелёта Венера - Земля. $V_{\infty 3+}$ - вектор гиперболического избытка скорости после гравитационного маневра у Земли; $tdsm3$ - момент осуществления импульса скорости на перелете Земля - Венера(2) и $T3$ - время перелёта Земля - Венера. Таким образом, анализ рассматриваемой части маршрута сведен к задаче на безусловный минимум в пространстве 16 скалярных переменных.

2. Результаты оптимизация траектории перелета Земля – Венера – Земля – Венера

Задачу минимизации суммарного импульса скорости удалось решить следующим образом: все три гравитационных маневра оказались пассивными и импульсы скорости в глубоком космосе на гелиоцентрических участках (Земля - Венера) оказались нулевыми. В итоге суммарный импульс скорости равен сумме импульса скорости при старте с низкой околоземной орбиты и импульса скорости в глубоком космосе на гелиоцентрическом участке (Венера - Земля).

Дата старта	06.02.2022
Модуль вектора гиперболического скорости при отлете от Земли (км/с)	5.1266
Требуемый импульс скорости с низкой околоземной орбиты (км/с)	4.3607
Дата выполнения гравитационного маневра у Венеры	19.07.2022
Модуль вектора гиперболического избытка скорости после гравитационного маневра у Венеры (км/с)	10.9776
Дата выполнения импульс скорости на участке Венера-Земля	12.01.2023
Модуль вектора импульса скорости на участке Венера-Земля (км/с)	0.3501
Дата выполнения гравитационного маневра у Земли	07.06.2023
Модуль вектора гиперболического избытка скорости после гравитационного маневра у Земли (км/с)	13.5231
Дата подлета к Венере	04.03.2024
вектор гиперболического избытка скорости при подлете Венеры (км/с)	- 10.3811,17.0 706,0.9088
Модуль вектора гиперболического скорости при последнем подлете к Венере (км/с)	20

Таблица 1 - Основные характеристики траектории.

На рисунке 1 представлено трехмерное изображение траектории перелета Земля – Венера – Земля – Венера.

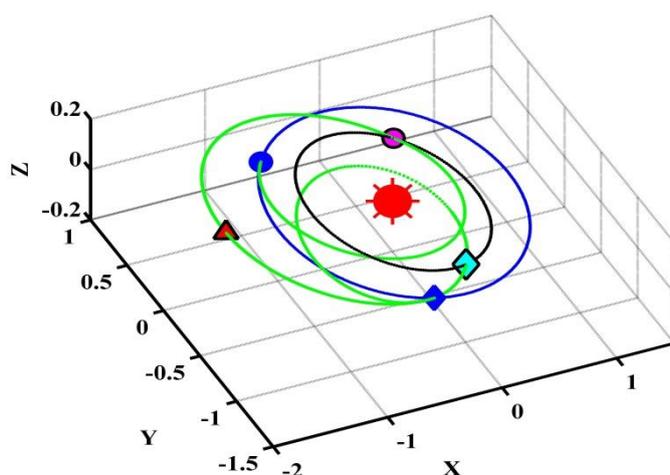


Рисунок 1 - Траектория перелета Земля – Венера – Земля – Венера

В нем использованы следующие обозначения: синяя линия - орбита Земли; серая линия - орбита Венеры; зеленая линия - траектория КА. Красной звездой обозначено положение Солнца. Синим кружком показано положение Земли в момент старта КА. Положение Земли в момент гравитационного маневра КА у Земли показано синим ромбом. Положение Венеры в момент гравитационного маневра КА у Венеры показано кружком. Красный треугольник

обозначает положение дополнительного импульса скорости в глубоком космосе. Заметим, что на участке перелета от Земли (после гравитационного маневра у Земли) к Венере КА делает больше одного оборота вокруг Солнца. КА встречается с Венерой для второго гравитационного маневра на втором пересечении орбиты Венеры. КА достаточно близко подлетает в перигелии к Солнцу на этом участке траектории, что теоретически позволяет считать ее первой рабочей орбитой.

3. Серия гравитационных маневров у Венеры и характеристики системы рабочих орбит

Выше был представлен вектор гиперболического избытка скорости при втором подлете Венеры и дата подлета к Венере. Эти характеристики рассматриваются в качестве входных для анализа последующих участков маршрута. При проведении подробного анализа серии гравитационных маневров у Венеры [3] выбраны следующие порядки резонансов: после первого гравитационного маневра у Венеры используется резонанс 3:4 с орбитой Венеры; после второго, третьего и четвертого гравитационных маневров у Венеры выбран порядок резонанса орбиты КА 1:1. В таблице 2 приведены наиболее важные характеристики траектории КА (характеристики рабочих орбит) после гравитационных маневров у Венеры.

рабочая орбита	Радиус перигелия	Радиус афелия	Период орбиты	Наклонение орбиты
	R_{sun}	АЕ	сутки	град.
Первая	72.51	1.1096	224.698	11.45
Вторая	55.45	0.9364	168.52	15.75
Третья	78.35	1.0824	224.698	18.57
Четвертая	88.85	1.0336	224.698	25.25
Пятая	103.00	0.9678	224.698	30.36
Шестая	120.00	0.8886	224.698	33.87
Седьмая	99.92	36.6	175.05	0.7603

Таблица 2. Основные характеристики рабочих орбит

На рисунке 2 (слева) представлена проекция семи гелиоцентрических рабочих орбит на плоскость эклиптики после каждого из шести гравитационных маневров у Венеры. Рисунок 2 (справа) демонстрирует постепенное увеличение наклонения рабочей орбиты по мере увеличения её порядкового номера. Наклонение последней рабочей орбиты составляет 36.6 градуса.

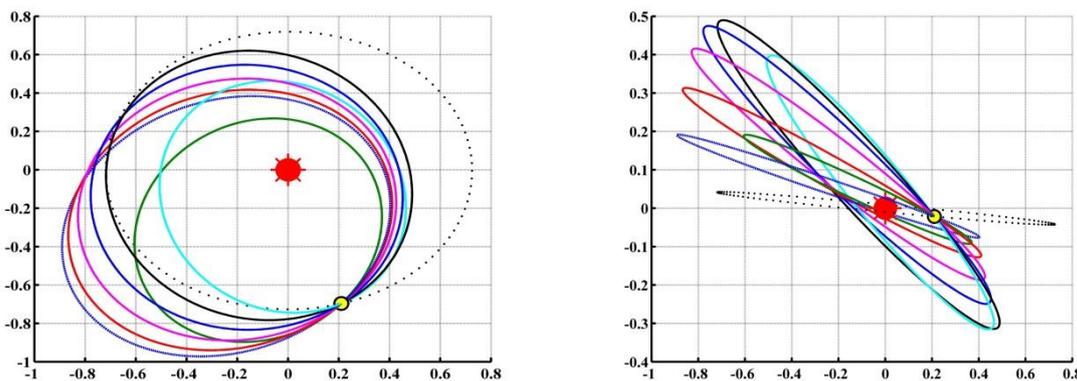


Рисунок 2 - Проекция на плоскость эклиптики (левый рисунок) и на плоскость, на плоскость XZ (правый рисунок) семи рабочих орбит.

На рисунке 2, положение Венеры в момент гравитационных маневров отмечено желтым кругом. Орбита Венеры показана черными точками. Первая рабочая орбита показана синим пунктиром. Вторая рабочая орбита с самым маленьким радиусом перигелия показана зеленой линией. Третья рабочая орбита показана сплошной красной линией. Четвертая рабочая орбита показана фиолетовой линией. Пятая рабочая орбита показана синей линией. Шестая показана черной линией. Последняя рабочая орбита КА показана голубой линией. Положение Солнца показано красным кружком.

В таблице 3 представлены основные характеристики проектно-баллистической оценки космического аппарата для полета на траектории Земля-Венера-Земля-Венера.

Выводимая масса на низкую околоземную орбиту Союзом-2 (кг)	8200
Сухая масса Фрегата (кг)	1050
Удельный импульс Фрегата (сек)	333.2
Максимальный запас топлива Фрегата (кг)	7100
Удельный импульс двигателя жидкостной ракетной двигательной установки собственно КА(сек)	310
Требуемая масса топлива для обеспечения гиперболического избытка скорости при отлете от Земли (кг)	6041.11
Масса КА в начале гелиоцентрической траектории (кг)	1040.79
Требуемая масса топлива для обеспечения дополнительного импульса скорости (кг)	113.21
масса научной аппаратуры КА (кг)	927.58

Таблица 3. массовые характеристики проекта

Заключение

В работе предложена схема полета космического аппарата с использованием системы семи гелиоцентрических орбит, предназначенного для изучения Солнца. Эти орбиты имеют радиусы перигелия от 55.45 до 120 радиусов Солнца. Наклонение каждой последующей орбиты к плоскости эклиптики увеличивается и достигает 36.6 градусов на последней орбите. Показано, что рассматриваемая транспортная система на базе ракеты-носителя «Союз-2», химической двигательной установки разгонного блока «Фрегат» и жидкостной ракетной двигательной установки КА может вывести на предлагаемую систему рабочих орбит КА достаточно большой массы -927,58 кг.

Список литературы

1. *Kuznetsov V.* The Russian InterhelioProbe Mission // Fourth Solar Orbiter Workshop, Telluride, Colorado, USA, March 27-31, 2011. 20 p.
2. *Константинов М.С., Тейн Мин.* Оптимизация траектории выведения космического аппарата на рабочую гелиоцентрическую орбиту. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 67, 2013г.
3. *Константинов М.С., Тейн Мин.* Анализ одной схемы полета космического аппарата для исследования Солнца. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 71, 2013г.
4. *Konstantinov M.S., Thein Min, Petukhov V.G.,* The one mission for Sun exploration. IAC paper, IAC-12-A3, 5, 5. 63th IAC, Naples, Italy, 2012.
5. *Konstantinov M.S., Petukhov V.G., Thein Min,* Optimization of the spacecraft insertion into the system of heliocentric orbits for Sun exploration. IAC paper, IAC-14.C1.9.4. 65th IAC, Toronto, Canada, 2014.

05.13.06

С.С. Михалевич, С.А. Байдали

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
физико-технический институт, кафедра ЭАФУ, Томск, АпорТ@ya.ru

МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ В МНОГОСВЯЗНЫХ САУ

В работе представлена методика параметрического синтеза ПИД-регуляторов в многосвязных САУ. Работоспособность методики проиллюстрирована на примере синтеза системы автоматического управления колонным аппаратом. Проведено сравнение с существующими подходами.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, многосвязная система автоматического управления, управления, запас устойчивости по фазе, частота среза, эффективная передаточная функция.

Несмотря на широкое распространение методов анализа качества и устойчивости одноконтурных систем, большинство промышленных объектов являются многосвязными. Это связано с тем, что современные технологии предусматривают наличие нескольких компонентов исходного сырья, а также требуют обеспечения заданной комбинации условий для получения целевого продукта.

Типовая упрощенная структура многосвязной САУ представлена на рисунке 2.

В случае настройки ПИД-регуляторов в такой системе, нельзя использовать методы настройки, применяемые в одноконтурных САУ. Большинство работ ориентировано на структурный и параметрический синтез оптимальных регуляторов [1, 2]. Представленные методы, основанные на матричных вычислениях, позволяют получить матрицу передаточных функций и их параметров. Но, как известно, синтезированные данными способами регуляторы не обладают высокой грубостью, что ограничивает их применение в промышленности.

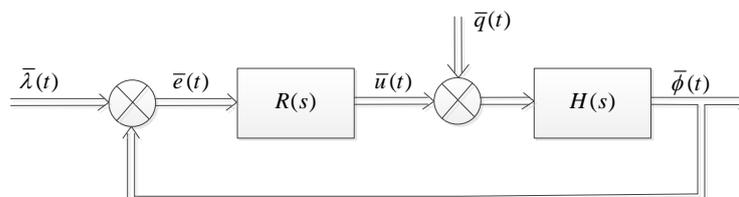


Рисунок 2 – Общий вид структурной схемы многосвязной САУ

Объект управления представляет собой квадратную матрицу передаточных функций. В общем случае, регулятор также представляет собой матрицу размерности $n \times n$. Но на практике, регулятор зачастую реализуется на контроллерах, которые уже содержат микропрограммы, реализующие ПИД закон. Они представляют собой многоканальный ПИД-регулятор, который может быть описан диагональной матрицей передаточных функций.

Объект управления зачастую обладает перекрестными связями между каналами, которые влияют на устойчивость всей системы, поэтому в большинстве случаев невозможно пренебречь этими связями, осуществив тем самым переход от многосвязной САУ к совокупности одноконтурных систем.

Существует несколько способов представления многосвязного объекта управления совокупностью одномерных передаточных функций [3]. Согласно исследованиям, представленным в работе [4] самым точным методом «развязывания» каналов управления является метод «эффективных передаточных функций разомкнутого контура» (*effective open-loop transfer function – EOTF*).

Это понятие было впервые введено учеными М.–J. He, W.–J. Cai, B.–F. Wu, M. He [5]. В их работе предполагалось использование метода массива относительных коэффициентов усиления (*relative gain array* – RGA). Как было показано в работе [4], метод RGA не обеспечивал достаточную для синтеза САУ точность, поэтому позже появились работы, основанные на динамическом массиве относительных коэффициентов усиления (DRGA) [6]. Матрица передаточных функций DRGA имеет вид

$$DRGA = H(s) \cdot H(s)^{-T}. \quad (1)$$

На основании матрицы DRGA в работах [4, 6] была найдена формула, позволяющая вычислить эффективную передаточную функцию разомкнутого контура, которая имеет вид

$$g_{ii}^{eff} = \frac{h_{ii}(s)}{DRGA_{ii}}. \quad (2)$$

Предлагаемый метод основан на задании желаемых значений запаса устойчивости по фазе и частоты среза, который представлен в работе [7].

Методика параметрического синтеза ПИД-регуляторов для многосвязных систем управления может быть представлена следующим образом:

1. Задание исходных данных: запаса устойчивости по фазе и начальной частоты среза для каждого управляемого канала, матрицу передаточных функций обобщенного объекта управления;

2. Найти динамический массив относительных коэффициентов усиления по формуле (1);

3. Рассчитать эффективные передаточные функции разомкнутого контура по каждому из управляемых каналов по формуле (2);

4. Представить передаточную функцию каждого из каналов объекта управления в виде уравнения

$$P(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{N_e(\omega) + j\omega N_o(\omega)}{D_e(\omega) + j\omega D_o(\omega)}. \quad (3)$$

В случае наличия запаздывающих элементов в эффективных передаточных функциях каналов управления их необходимо представить в виде ряда Паде [7];

5. Вычислить вспомогательные коэффициенты по формулам

$$a_{11} = \omega^4 N_o D_o + \omega^2 N_e D_e; \quad (4)$$

$$a_{12} = \omega^2 N_o D_e + \omega^2 N_e D_o; \quad (5)$$

$$a_{13} = \omega^4 N_e D_o + \omega^4 N_o D_e; \quad (6)$$

$$a_{21} = \omega^3 N_o D_e + \omega^3 N_e D_o; \quad (7)$$

$$a_{22} = -\omega N_e D_e + \omega^3 N_o D_o; \quad (8)$$

$$a_{23} = \omega^3 N_e D_e + \omega^5 N_o D_o; \quad (9)$$

$$a_{31} = \omega^8 (N_o' D_o^3 - N_o D_o' D_o^2) + \omega^6 (N_o' D_e^2 D_o + N_o D_e^2 D_o' + N_e' D_e D_o^2 + N_e D_e' D_o^2 - 2N_o D_e' D_e D_o - 2N_e D_e D_o' D_o) + \omega^5 (2N_o D_e^2 D_o - 2N_e D_e D_o^2) + \omega^4 (N_e' D_e^3 - N_e D_e' D_e^2); \quad (10)$$

$$a_{32} = \omega^6 (N_o' D_e D_o^2 - N_e' D_o^3 + N_e D_o' D_o^2 + N_o D_e' D_o^2 - 2N_o D_e D_o' D_o) + \omega^5 (2N_e D_o^3 - 2N_o D_e D_o^2) + \omega^4 (N_o' D_e^3 - N_e' D_e^2 D_o - N_e D_e^2 D_o' + 2N_e D_e' D_e D_o - N_o D_e' D_e^2); \quad (11)$$

$$a_{33} = \omega^8 (N_e' D_o^3 - N_e D_o' D_o^2 - N_o' D_e D_o^2 - N_o D_e' D_o^2 + 2N_o D_e D_o' D_o) + \omega^6 (N_e' D_e^2 D_o + N_e D_e^2 D_o' - N_o' D_e^3 + N_o D_e' D_e^2 - 2N_e D_e' D_e D_o) + \omega^5 (2N_e D_e^2 D_o - 2N_o D_e^3); \quad (12)$$

$$b_1 = -\cos(\varphi_m) [\omega^2 D_e^2 + \omega^4 D_o^2]; \tag{13}$$

$$b_2 = -\sin(\varphi_m) [\omega^2 D_e^2 + \omega^4 D_o^2], \tag{14}$$

где $N_e' = \frac{dN_e}{d\omega_c}$, $N_o' = \frac{dN_o}{d\omega_c}$, $D_e' = \frac{dD_e}{d\omega_c}$, $D_o' = \frac{dD_o}{d\omega_c}$, $\omega = \omega_c$, ω_c – частота среза (рад/с), φ_m – желаемый запас устойчивости по фазе (рад).

6. Вычислить параметры настройки регулятора по формулам

$$K_1(\omega_c) = \frac{a_{13}a_{32}b_2 + a_{22}a_{33}b_1 - a_{12}a_{33}b_2 - a_{23}a_{32}b_1}{\Delta}, \tag{15}$$

$$K_2(\omega_c) = \frac{a_{11}a_{33}b_2 - a_{13}a_{31}b_2 - a_{21}a_{33}b_1 + a_{23}a_{31}b_1}{\Delta}, \tag{16}$$

$$K_3(\omega_c) = \frac{a_{12}a_{31}b_2 - a_{11}a_{32}b_2 + a_{21}a_{32}b_1 - a_{22}a_{31}b_1}{\Delta}, \tag{17}$$

где $\Delta = a_{11}a_{22}a_{33} - a_{11}a_{23}a_{32} - a_{12}a_{21}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} + a_{13}a_{21}a_{32} - a_{13}a_{22}a_{31}$.

7. Произвести моделирование и оценить качество регулирования в системе. В случае недостаточной скорости переходного процесса в каком-либо канале необходимо увеличить частоту среза и повторить пункты 2–7. Если увеличение частоты среза ведет к неустойчивости многосвязной САУ, то необходимо увеличить запас по фазе в настраиваемом канале.

Покажем алгоритм синтеза параметров настройки ПИД-регуляторов на примере синтеза системы управления для объекта управления, представленного 24 тарельчатым колонным аппаратом разделения смеси метанола и воды (в зарубежной литературе именуемого в честь исследователей С.Д. Vinnate и W.L. Luypen [9]). Представленный аппарат описывается матрицей передаточных функций вида

$$G_{VL}(s) = \begin{pmatrix} \frac{-2,2e^{-s}}{7s+1} & \frac{1,3e^{-0,3s}}{7s+1} \\ \frac{-2,8e^{-1,8s}}{9,5s+1} & \frac{4,3e^{-0,35s}}{9,2s+1} \end{pmatrix}. \tag{18}$$

«Эффективные» передаточные функции первого и второго каналов приобретает вид

$$g_{VL11}^{eff}(s) = \frac{-2,2e^{-s}}{7s+1} + \frac{0,85(9,2s+1)e^{-1,75s}}{(7s+1)(9,5s+1)}, \tag{19}$$

$$g_{VL22}^{eff}(s) = \frac{4,3e^{-0,35s}}{9,2s+1} - \frac{1,65e^{-1,1s}}{9,5s+1}. \tag{20}$$

Параметры настроек регуляторов для сравнительного анализа представлены в таблице 1. Переходные процессы по каждому из каналов управления приведены на рисунке 3 (изображены переходные процессы только устойчивых систем).

Как видно из графиков переходных процессов исследуемых систем, предлагаемый в работе метод может быть использован при расчете многосвязных объектов управления. Он обеспечивает меньшую колебательность и перерегулирование в системе, при сравнимом времени регулирования во всех каналах управления.

Из недостатков метода стоит отметить отсутствие обеспечения автономности каналов управления, что может привести к неустойчивости многосвязной САУ, в то время как системы управления с эффективными передаточными функциями каждого из каналов управления устойчивы. Таким образом, при использовании метода *EOTF* и предлагаемого способа настройки ПИД-регулятора в многосвязных САУ всегда необходимо проверять полученные параметры на многосвязной модели объекта управления.

Таблица 1 – Параметры ПИД-регуляторов в двухканальных САУ

Метод настройки регулятора	K_1^1	K_2^1	K_3^1	K_1^2	K_2^2	K_3^2	Устойчивость
Предлагаемый метод	-1,784	-0,27	0,017	3,744	1,818	0,769	да
Метод Циглера-Никольса	-13,739	-10,07	-4,685	122,4	1176,8	3,182	нет
SIMC	-1,83	-0,273	-0,165	5,54	0,627	0,011	да
Метод оптимального модуля	0,655	0,039	2,674	-0,178	0,001	-1,685	нет
AMIGO	-3,394	-1,198	-1,123	28,99	73,571	0,752	нет

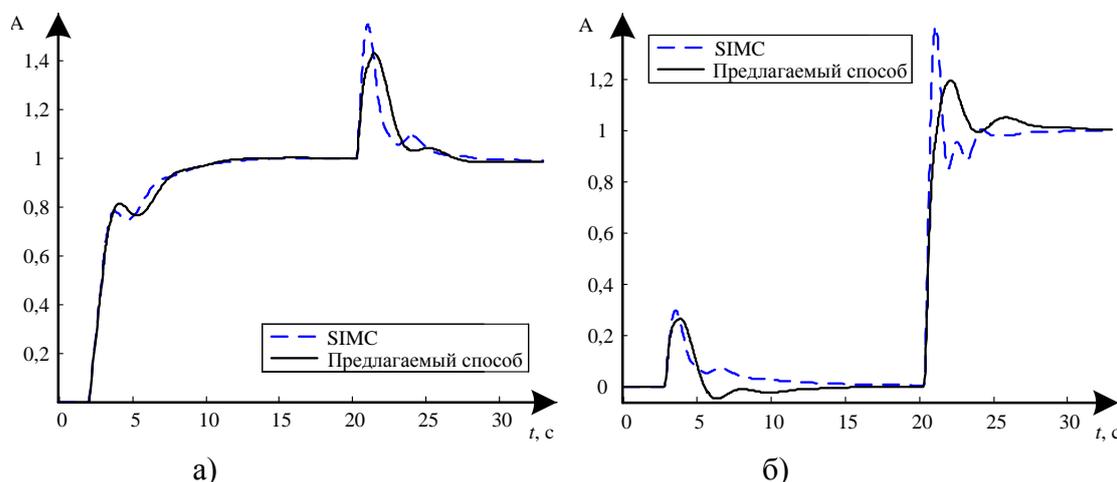


Рисунок 3 – Переходные процессы в первом (а) и втором (б) каналах объекта

Предлагаемое решение отличается от предложенных ранее [3, 5], исключением из алгоритма параметрического синтеза ПИД-регулятора пункта об аппроксимации $EOTF$ звеном низкого порядка.

К сожалению, из-за наличия внутренних перекрестных связей в объекте управления, каждый канал объекта подвержен влиянию переходных процессов других каналов, т.е. система управления не является автономной. Обеспечить условия автономности в системах управления на основе ПИД-регуляторов (заданных в общем виде) без использования дополнительных средств не представляется возможным.

Список литературы

1. Мееров М.В., Лутвак Б.Л. Оптимизация систем многосвязного управления. – М.: Наука, 1972. – 344 с.
2. Кулебакин В.С. Высококачественные инвариантные системы регулирования, Теория инвариантности и ее применение в автоматических устройствах. – М.: АН СССР, 1959.
3. Åström K.J., Hägglund T. Advanced PID control. – USA: ISA - Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006. – 460 p.
4. Vu T.N.L., Lee M. Independent design of multi-loop PI/PID controllers for interacting multivariable processes // Journal of process control, Vol. 20, 2010. – 922-933 p.
5. He M.-J., Cai W.J., Wu B.F., He M. Simple decentralized PID controller design method based on dynamic relative interaction analysis // Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol. 44, 2005. – 8334-8344 p.
6. Tung L.S., Edgar T.F. Analysis of control-output interaction in dynamic systems // AIChE Journal, Vol. 27, 1981. – 690-693 p.
7. S.S. Mikhalevich, S.A. Baydali Development of a tunable method for PID controllers to achieve the desired phase margin // Journal of Process Control 25 (2015) 28-34.
8. Golub, G.H., Van Loan C.F. Matrix Computations. – USA: Johns Hopkins University Press, 1989. – 557 p.
9. Luyben W.L. Simple method for tuning SISO controllers in multivariable systems // Industrial & Engineering chemistry process design and development, Vol. 25, 1986. – 654-660 p.

05.13.06

С.С. Михалевич, С.А. Байдали

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
физико-технический институт, кафедра ЭАФУ, Томск, АпорТ@ya.ru

НАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ В ИНТЕРВАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

В статье представлен критерий оценки качества интервальных систем. На основании этого критерия был составлен функционал, позволяющий отыскать оптимальные запас устойчивости по фазе и частоту среза для настройки ПИД-регулятора известной методикой. Работоспособность предлагаемого метода подтверждается теоретическим примером. Предлагаемый метод предназначен для настройки ПИД-регуляторов в системах с запаздыванием.

Ключевые слова: *ПИД-регулятор, интервальный объект управления, запас устойчивости по фазе, частота среза, функция чувствительности.*

Введение

В настоящее время большинство систем работает под управлением ПИ и ПИД-регуляторов [1]. Данные законы управления получили широкое распространение благодаря их простоте, легкой технической реализацией и способностью управлять огромным количеством объектов.

На сегодняшний день, существует множество методов оценки качества и устойчивости линейных систем управления. Наибольшее распространение получили временные методы оценки: время регулирования, перерегулирование, показатель колебательности, интегральные показатели качества (например, IAE, ITAE) др. Но во временной области для них очень сложно оценить степень устойчивости систем. Поэтому для оценки степени устойчивости системы применяют либо корневые методы оценки, либо частотные. Первый метод оценки используется, как правило, в системах малого порядка, ввиду значительного возрастания количества рассматриваемых нулей и полюсов передаточной функции замкнутой системы при высоком порядке. Частотные методы оценки устойчивости на основании годографа Найквиста и Боде лишены этого недостатка.

На основании этих методов было предложено огромное количество методов настройки регуляторов: аналитические, графические, на основе определенных правил, оптимизационные.

Наравне с настройкой систем с точно заданными параметрами передаточной функции объекта управления, существует проблема настройки ПИД-регуляторов в интервальных системах. Этому вопросу также уделено внимание в литературе [2].

Целью статьи является разработка метода, обеспечивающего приемлемое качество работы интервальной системы управления с ПИД-регулятором. В данном случае, по мнению авторов, целесообразно использовать одновременно аналитический и оптимизационный методы настройки регулятора, где объект управления задан передаточной функцией, состоящей из интервальных полиномов в числителе и знаменателе. В случае наличия запаздывания, его также можно задать интервальной величиной.

Теоретическая часть

Для оценки эффективности работы интервальных систем предлагается анализировать два наиболее понятных и часто используемых параметров: перерегулирование и время регулирования.

Структурная схема рассматриваемой системы управления имеет вид, представленный на рисунке 1.

Произведя моделирование, меняя все параметры передаточной функции объекта управления $P(s)$ в пределах заданного интервала, и, находя значение перерегулирования и времени регулирования, можно построить контур области в координатах время регулирования – перерегулирования. Соединению прямой линией подлежат только крайние точки. Помимо полученной фигуры на графике отмечают точку с номинальными параметрами передаточной функции объекта управления. Оптимально настроенной интервальной системой является та, которая обладает меньшей площадью, и расположена как можно ближе к точке с координатами $(0;0)$.

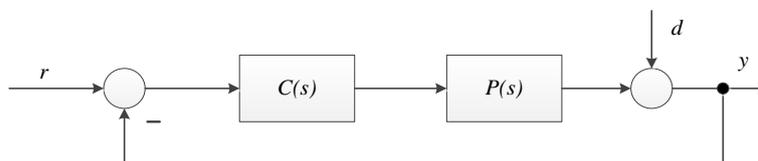


Рисунок 1 – Структурная схема рассматриваемой системы: r – уставка, y – управляемая величина; d – возмущающее воздействие

В качестве метода настройки регулятора был выбран частотный метод, представленный в статье [3]. Метод основан на обеспечении заданного запаса устойчивости по фазе на заданной частоте и обеспечивает наименьшее перерегулирование при одних и тех же запасах устойчивости по фазе и частоте среза.

Исходные уравнения формулируются следующим образом:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} G(j\omega_c) &= -\cos(\varphi_m), \\ \operatorname{Im} G(j\omega_c) &= -\sin(\varphi_m), \\ \frac{dG(j\omega_c)}{d\omega_c} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $G(j\omega)$ – передаточная функция замкнутой системы, ω_c – частота среза, φ_m – желаемый запас по фазе.

В случае если в системе содержится запаздывание, его раскладывают в ряд Паде и представляют в виде передаточной функции.

Дальнейшая работа посвящена выбору оптимальной комбинации запаса по фазе и частоты среза, чтобы обеспечить качественную работу интервальной системы.

Как известно, запас устойчивости по фазе (φ) косвенно характеризует устойчивость системы. Но иногда, он не может быть использован как мера устойчивости [4] (см. рисунок 2).

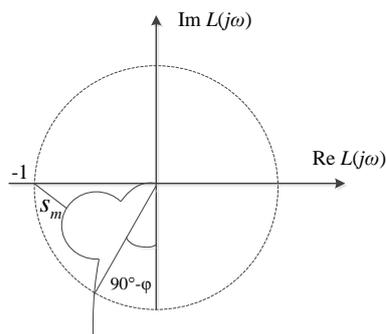


Рисунок 2 – Случай невозможности оценки устойчивости по запасу по фазе:

$L(j\omega)$ – передаточная функция разомкнутого контура

Гораздо более общей мерой измерения робастности системы является функция чувствительности, наиболее подробно описанная в работах Åström [5]. На основании этой функции можно утверждать, что чем больше значение s_m , тем более устойчива система автоматического управления.

Из указанного выше следует, что оптимальные запас устойчивости по фазе и частота среза могут быть найдены из следующего функционала:

$$V[\varphi_m, \omega_c] = \left[1 - \min(s_m^i) \right] + \frac{\max(IAE^i)}{IAE^0} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где IAE^0 – IAE (интеграл от модуля сигнала рассогласования) критерий при номинальных значениях параметров объекта управления; $\min(s_m)$ – минимальное расстояние от критической точки (-1;0) до годографа Найквиста; $\max(IAE^i)$ – максимальное значение IAE критерия, $i=1..3^n$, n – число интервальных параметров передаточной функции объекта управления.

Таким образом, первое слагаемое функционала (3) обеспечивает как можно большее расстояние от критической точки (-1;0) до годографа Найквиста, второе – минимальное значение IAE критерия, и, следовательно, уменьшение области в координатах время регулирования–перерегулирование, о которой рассказано выше.

Ограничением предлагаемого подхода является обязательное наличие запаздывания в канале управления.

Практическая часть

Пусть передаточная функция объекта управления задана выражением [10]

$$W(s) = \frac{1}{(s+1)(s^2+s+5)} e^{-2s}. \quad (4)$$

Параметры передаточной функции (4) варьируются в пределах $\pm 15\%$. Сравнение проводилось с методом оптимального модуля и методом, предложенным Waghmare и Malwatkar [6].

В качестве начальной точки для поиска минимального значения функционала (3) был выбран запас по фазе и частота среза, которую обеспечивает в системе передаточная функция регулятора $C_{W\&M}(s)$, а именно $\varphi_m=60^\circ$ и $\omega_c=0.28$ рад/с. Рассчитанные показатели $\varphi_m=64.8754^\circ$ и $\omega_c=0.2828$ рад/с. Тогда передаточная функция ПИД-регулятора примет вид:

$$C_p(s) = 2.2742 + \frac{1.3741}{s} + 0.9553s \quad (5)$$

Реакция системы (см. рисунок 1) с различными параметрами настройки регулятора на единичное ступенчатое изменение уставки и единичное ступенчатое возмущение представлена на рисунке 3. Область оценки устойчивости системы при варьировании параметров передаточной функции объекта управления представлена на рисунке 4.

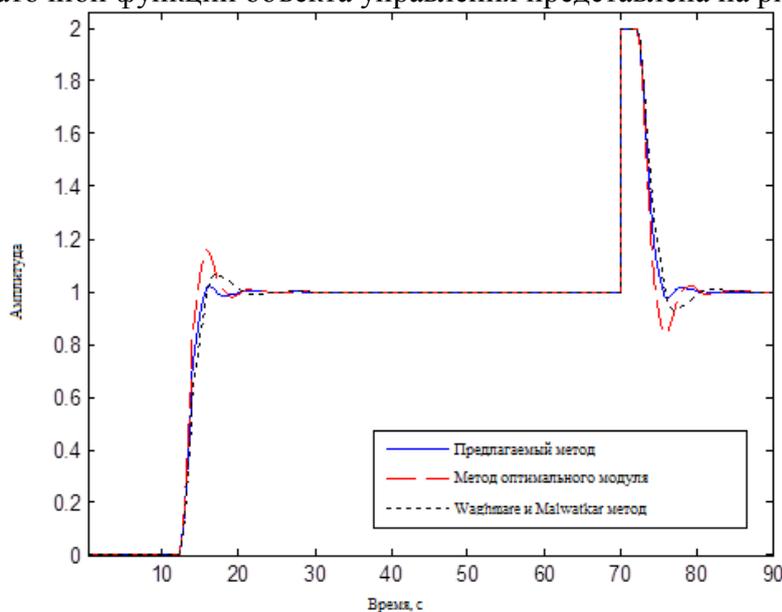


Рисунок 3 – Переходные характеристики САУ

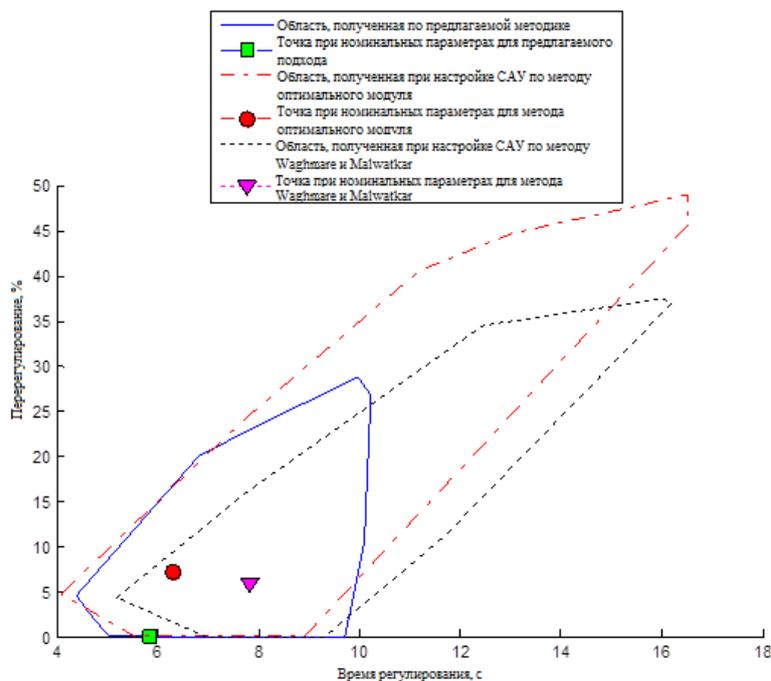


Рисунок 4 – Область изменения времени регулирования и перерегулирования при варьировании параметров передаточной функции (4) в пределах $\pm 15\%$.

Вывод

Таким образом, в работе представлен метод оценки временных характеристик для интервальных систем автоматического управления. На основании данного метода и метода настройки ПИД-регулятора [6] был предложен функционал (3), минимизируя который, можно получить запас по фазе и частоту среза системы управления для расчета параметров настройки ПИД-регулятора. Данные параметры настройки обеспечивают минимальную область изменения времени регулирования и перерегулирования, что ведет к уменьшению *IAE* критерия и, одновременно, гарантируют устойчивость системы управления.

Работа выполнена в Томском политехническом университете в рамках государственного задания "Наука".

Список литературы

1. *W. Cho, J. Lee, T.F. Edgar* Simple analytic proportional-integral-derivative (PID) controller tuning rules for unstable processes, *Industrial and Engineering Chemistry Research* 53 (13) (2004) 5048–5054.
2. *Bevrani H.* Application of kharitonov's theorem and its results to load frequency control. *Iran J Electr Sci Technol (BARGH)* 1998(24):82–95.
3. *S.S. Mikhalevich, S.A. Baydali* Development of a tunable method for PID controllers to achieve the desired phase margin // *Journal of Process Control* 25 (2015) 28-34.
4. *K.J. Åström, T. Hägglund* *Advanced PID Control*, ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, NC, 2005.
5. *H. Panagopoulos, K.J. Åström, and T. Hägglund* Design of PID controllers based on constrained optimisation. *IEE Proceedings - Control Theory & Applications*, 149 (1): 32–40, 2002.
6. *L.M. Waghmare, G.M. Malwatkar* Design of PID Controllers for improved performance of higher order systems//*UKACC International Conference on Control-2010*. UK: Coventry, 2010, 4: 1160 – 1165.

05.07.05

В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков

ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
 Центр высокопроизводительных вычислительных систем,
 Пермь, modorsky@pstu.ru, ar.shmakov@gmail.com

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОСЕВОМ ВЕНТИЛЯТОРЕ

В работе представлены результаты газодинамического расчета осевого вентилятора. В ходе поискового вычислительного эксперимента рассчитана аэродинамика нескольких десятков вариантов конструкции. Проведен анализ взаимосвязи различных геометрических параметров лопасти, такие как форма, ширина и высота профиля аэродинамического профиля, контура и размеров лопасти вентилятора на характеристики потока, расход воздуха и требуемую мощность привода вентилятора. По результатам проделанной была выбрана аэродинамическая форма лопасти, которая обеспечивает заданный расход воздуха и энергопотребление.

Ключевые слова: композиционные материалы, осевой вентилятор, Ansys CFX, градиент, Clark-Y, ЦАГИ-13, аэродинамический профиль, метод конечных элементов, охлаждение.

В данной работе, проведено численное 3D - моделирование проектируется крупногабаритного осевого нагнетателя.

Была разработана следующая физическая модель:

- рассматривается течение только внутри корпуса нагнетателя;
- вентилятор вписан в объем, ограниченный корпусом нагнетателя;
- не учитывается прилипание частиц к стенке;
- стенки являются адиабатическими;
- в качестве рабочего тела используется воздух;
- задано вращение расчетной области;

В силу симметрии рассматривается 1/4 часть конструкции. На рисунке 1 представлены расчетная область, граничные условия и сеточная модель.

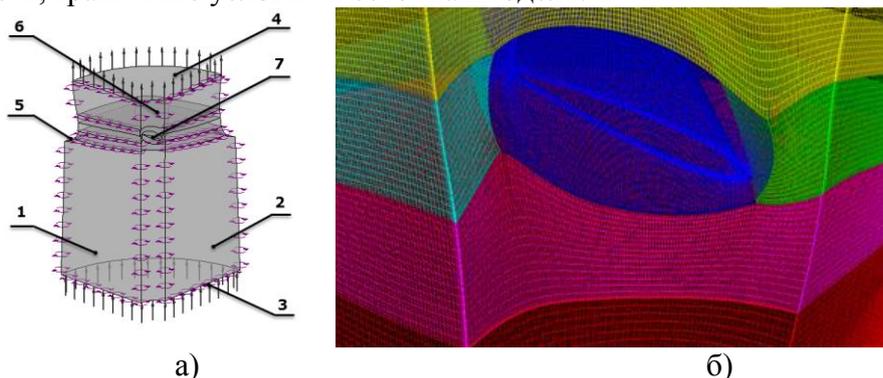


Рис. 1 – Расчетная область и граничные условия:

а – граничные условия; б – фрагмент расчетной области вблизи лопасти;

- 1, 2 — граничные условия периодичности расчетной области; 3 — граничные условия входа воздуха; 4 — граничные условия выхода воздуха; 5 — внутренняя стенка канала; 6 — центральный канал; 7 — внешняя стенка лопасти.

Для проведения расчетов были заданы следующие исходные данные: на входе (рисунок 1, поз. 3) и выходе (рисунок 1, поз. 4) заданы давление 101325 Па и температура газа 15 ° С.

С учетом принятых допущений сформулирована следующая математическая модель [1]:

Уравнение сохранения массы газа

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_r) + \bar{\nabla}(\rho_r V_r) = 0 \quad (1)$$

Уравнение сохранения импульса газа

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_r) + \bar{\nabla}(\rho_r V_r \times V_r) = -\bar{\nabla}P \quad (2)$$

Уравнение сохранения энергии газа

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_r H_r) + \bar{\nabla}(\rho_r V_r H_r) = \frac{\partial P}{\partial t} + \bar{\nabla} \left(\left(\frac{\lambda}{C_p} + \mu_T \right) \bar{\nabla} H_r \right) \quad (3)$$

Уравнение турбулентной энергии

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_r k) + \bar{\nabla}(\rho_r V_r k) = \bar{\nabla} \left(\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \bar{\nabla} k \right) + \mu_T G - \rho_r \varepsilon \quad (4)$$

Уравнение скорости диссипации турбулентной энергии

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_r \varepsilon) + \bar{\nabla}(\rho_r V_r \varepsilon) = \bar{\nabla} \left(\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \bar{\nabla} \varepsilon \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \mu_T G - C_2 f \rho_r \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

где ρ – плотность газа; V – скорость движения газа; k – турбулентная энергия; H – энтальпия газа; μ_T – вязкость газа; ε – скорость диссипации турбулентной энергии; G – расход газа; f , C_1 , C_2 , σ_ε – расчетные константы.

Был проведен анализ сходимости решения при различных размерах конечных элементов расчетной сетки. Расчет проводился на модели с 8 млн. ячеек. На рисунке 1 показана конечно-элементная модель расчетной области.

В таблице 1 приводятся результаты вычислительных экспериментов.

Таблица 1. Основные результаты вычислительных экспериментов

№ расчетного варианта	α_1^1 , град	α_2^2 , град	b^3 , м	Q^4 , млн. м ³ /час	N^5 , кВт
1	8	25	2250	17,2	586,7
2	8	25	1900	10,9	226,6
3	12	45	2100	11,7766	310,9
4	16	25	1900	9,35754	457
5	8	25	2250	11,2	257,1
6	8	8	2000	8,81	189
7	12	12	2100	10,2	291,99
8	10	25	2000	10,3	216,42
9	10	25	2000	11,98	316,74

¹ – угол атаки на конце лопасти; ² – угол атаки на конце лопасти; ³ – ширина лопасти; ⁴ – расход газа через вентилятор; ⁵ – мощность привода вентилятора.

В таблице 2 приводятся некоторые характеристики расчетных вариантов лопастей [4, 5].

Таблица 2. Характеристики расчетных вариантов лопастей.

№ расчетного варианта	Характеристика лопасти
1, 2	Аэродинамический профиль Clark-Y, с криволинейной закруткой
3, 4	Аэродинамический профиль Clark-Y, без закрутки, на задней кромке у комля до 1/2 длины лопасти имеется уголок отбортовка.
5	Аэродинамический профиль Clark-Y, равномерная закрутка.
6, 7	Аэродинамический профиль Clark-Y, без закрутки
8	Аэродинамический профиль ЦАГИ-6-13%, равномерная закрутка.
9	Аэродинамический профиль Clark-Y, равномерная закрутка.

Оценка влияния параметров показала, что увеличение угла α_1 на 4 градуса приводит к увеличению потребляемой мощности двигателя на 54,5%, а расхода воздуха на 15,8%.

Оценка влияния угла атаки лопасти вблизи комля показала, что увеличение угла α_2 на 17 градусов приводит к увеличению потребляемой мощности двигателя на 19,9% и расхода воздуха на 6,2%. Таким образом, влияние угла атаки лопасти вблизи комля на потребляемую мощность электродвигателя и расход газа слабее, чем угла атаки на конце лопасти.

Оценка влияния ширины лопасти показала, что увеличение ширины на 350 мм приводит к увеличению потребляемой мощности двигателя на 13,46% и расхода воздуха на 2,8%.

Уменьшение длины лопасти для обеспечения зазора величиной 50 мм между лопастью и корпусом нагнетателя приводит к снижению потребляемой мощности электродвигателя и расхода воздуха менее, чем на 1%.

Исключение из расчета застойной области вблизи оси вращения вентилятора, путем введения вертикальной цилиндрической поверхности, ограничивающей расчетную область вблизи оси вращения, дает ошибку в пределах 2 процентов.

На рисунке 2 представлены результаты оценки скорости расчета в зависимости от числа используемых ядер.

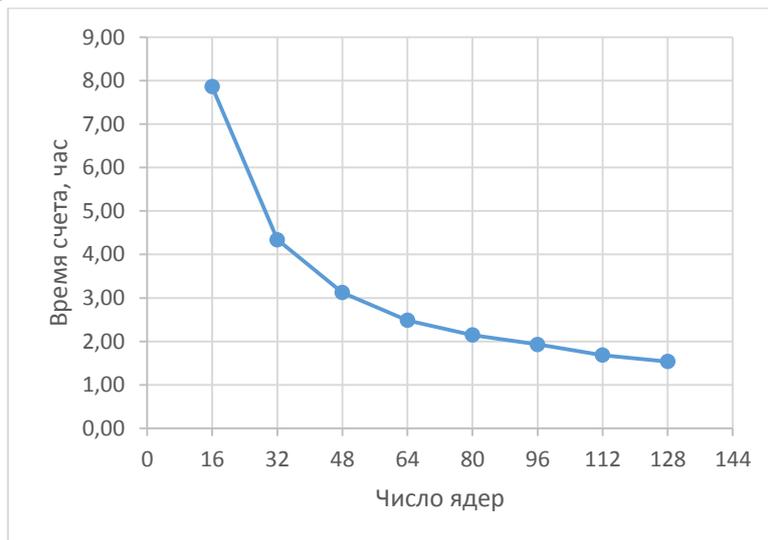


Рис. 2 Оценка времени расчета в зависимости от количества ядер

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- Аэродинамическая форма лопасти с профилем ЦАГИ-6-13%, $\alpha_1=10^0$, $\alpha_2=25^0$, $h=2000$ мм и равномерной круткой обеспечивает расход воздуха $Q=10.2$ млн.м³/час и энергопотребление $P=216.4$ кВт.

- Наибольшее влияние на расход газа и производительность оказывает изменение угла атаки на конце лопасти. Поэтому, для изменения характеристик рекомендуем изменение этого параметра.

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. / Под ред. Ю.В. Соколкина. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 176 с.
2. Модорский В.Я., Шмаков А.Ф. Параллельный расчет газодинамического процесса в крупногабаритном вентиляторе. // Материалы конференции «Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах (НПС 2014)», 2014 – с. 295-302
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, 2009

05.07.05

В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков

ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Центр высокопроизводительных вычислительных систем,
Пермь, modorsky@pstu.ru, ar.shmakov@gmail.com

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСЕВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

В работе представлены результаты расчета напряженно-деформированного состояния лопасти вентилятора крупногабаритного нагнетателя, изготовленного из композиционного материала. В ходе поискового вычислительного эксперимента рассчитаны нескольких десятков вариантов конструкций. По результатам проделанной работы выбрана конструкция лопасти, которая удовлетворяет требованиям прочности и технологии изготовления.

Ключевые слова: композиционные материалы, осевой вентилятор, Ansys Workbench, напряженно-деформированное состояние, градиент, метод конечных элементов, охлаждение.

На сегодняшний день одним из важнейших направлений развития всех отраслей промышленности – это использование новых материалов. Одним из перспективных в использовании являются композиционные материалы.

Цель данной работы – определение напряженно-деформированного состояния лопасти осевого вентилятора, изготовленного из композиционного материала.

Была сформулирована следующая физическая модель:

- в силу симметрии конструкции имеется возможность исследовать напряженно-деформированное состояние одной лопасти;
- исследуемая конструкция нагнетателя включает в себя два элемента: платформа из стали и жестко закрепленная на ней лопасть из стеклопластика;
- учитывается гравитация, центробежные силы и аэродинамическая нагрузка;
- элементы конструкции лопасти рассчитываются с учетом направления выкладки стеклопластика;
- конструкция лопасти включает, в общем случае, следующие элементы: нервюры, несущую трубу, обшивку и наполнитель.

В качестве граничных условий (рисунок 1) принималось воздействие аэродинамических сил, экспортируемых из газодинамического расчета.

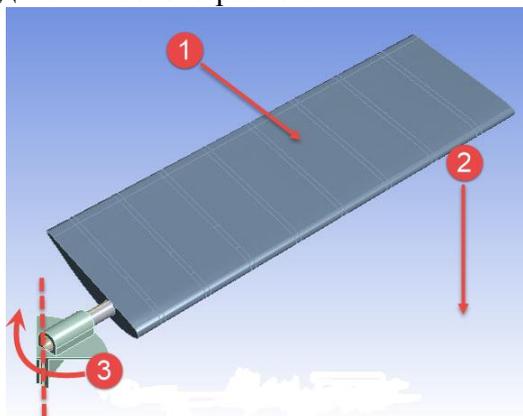


Рисунок 1 – Граничные условия: 1 — аэродинамическая нагрузка; 2 — направление действия силы тяжести; 3 — вращение вокруг оси.

Исходные данные:

- в качестве материала лопасти и несущей трубы использовался стеклопластик, платформы – сталь;

- задано вращение расчетной области - 60 об/мин;

Для оценки напряженно-деформированного состояния лопасти было рассмотрено несколько вариантов конструкций. Рассмотренные варианты конструкции представлены на рисунке 2.

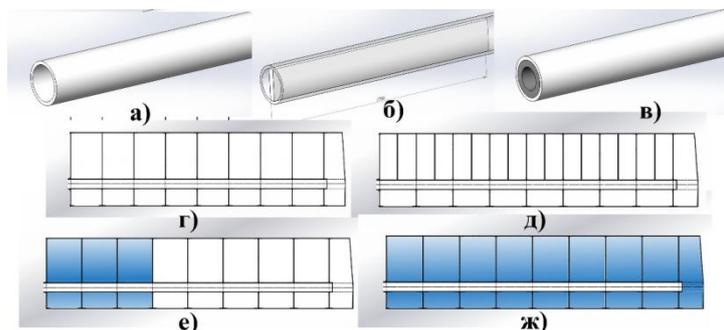


Рисунок 2 – Варианты конструкций лопасти: а – несущая труба (полая); б – несущая труба (с перегородкой); в – несущая труба (с увеличенной толщиной стенки); г – нервюры расположены через каждые 1000 мм; д – нервюры расположены через каждые 500 мм; е – пеной заполнены три первых секции лопасти (со стороны комля); ж – все секции лопасти заполнены пеной.

На рисунке 3 представлена конечно-элементная модель лопасти одного из вариантов конструкции:

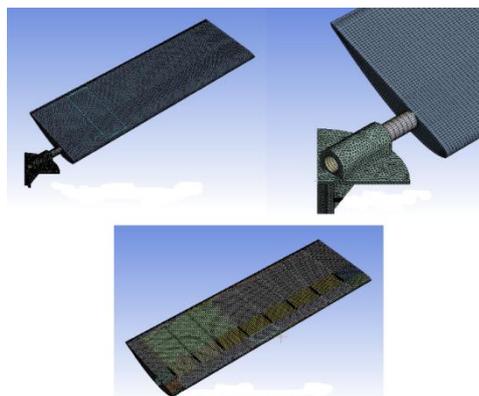


Рисунок 3 – Конечно-элементная модель

Для выбора оптимальной конструкции лопасти вентилятора был составлен план проведения вычислительных экспериментов (таблица 1). В качестве основных геометрических параметров были приняты следующие значения: угол атаки у комля лопасти – 25 град, угол атаки на конце лопасти – 10 град, ширина лопасти – 2000 мм, толщина оболочки лопасти – 3 мм, внешний диаметр несущей трубы – 260 мм, толщина стенки несущей трубы – 5 мм.

Таблица 1. План вычислительных экспериментов по оценке напряженно-деформированного состояния конструкции

№	Примечание
1	Профиль: ЦАГИ-6-13% на обоих концах, одного сечения Равномерная крутка. Наличие нервюр через 1000 мм
2	Профиль: ЦАГИ-6-13% на обоих концах, одного сечения Равномерная крутка. Наличие нервюр через 1000 мм. На внутренней поверхности лопасти нанесена пена толщиной 20 мм. С перегородкой вдоль трубы длиной 1500 мм
3	Профиль: ЦАГИ-6-13% на обоих концах, одного сечения Равномерная крутка. Наличие нервюр через 1000 мм. На внутренней поверхности лопасти нанесена пена толщиной 20 мм. Внутри стержня на глубину 1700 мм установлена труба толщиной 20 мм
4	Профиль: ЦАГИ-6-13% на обоих концах, одного сечения Равномерная крутка. Наличие нервюр через 1000 мм. Внутри стержня на глубину 1700 мм установлена перегородка толщиной 20 мм
5	Профиль: ЦАГИ-6-13% на обоих концах, одного сечения Равномерная крутка. Наличие нервюр через 1000 мм. На внутренней поверхности лопасти на 3 секции нанесена пена толщиной 20 мм. Внутри стержня на глубину 1700 мм установлена перегородка толщиной 20 мм. Свободное пространство между перегородкой и внутренней поверхностью стержня заполнена трубой

Результаты определения напряженно-деформированного состояния выбранных конструкций представлены в таблице 2. Как видно из таблицы, первый вариант без каких-либо подкреплений не удовлетворяет требованиям прочности и имеет большие перемещения на конце лопасти. Поэтому, для усиления конструкции лопасти необходимо было использовать различные конструктивные решения (таблица 1).

Таблица 2. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния конструкции

№ расчетного варианта	Перемещение на конце лопасти, мм	Максимальные эквивалентные напряжения на трубе, МПа	Максимальные эквивалентные напряжения на нервюрах, МПа	Максимальные эквивалентные напряжения на поверхности лопасти, МПа	Оценка потери устойчивости поверхности лопасти
1	499	169,6	813,9	40,2	Да
4	466	88,8	657	42	Да
3	375	39	303	26	Нет
2	382	89,3	535	34	Нет
5	383	89,2	535	34	Нет

В результате доработки конструкции, была рассчитана конструкция лопасти, имеющей продольно-поперечный силовой набор, состоящей из несущей трубы и набора нервюр (9 шт.). Силовой набор покрыт листом стеклопластика толщиной 3 мм. Наружный диаметр трубы 260 мм, внутренний 250 мм. Ширина лопасти 2000 мм. Профиль ЦАГИ-6-13%. По длине имеется равномерная крутка лопасти. Часть трубы, выходящая наружу со стороны комля лопасти, жестко скреплена с опорной поверхностью в виде стального диска с центром, совпадающим с центром вращения вентилятора. Все остальные детали стеклопластиковые.

Анализ результатов вычислительных экспериментов позволил сделать следующие выводы:

- Оптимальным с точки зрения напряженно-деформированного состояния является конструкция вентилятора с лопастью с профилем ЦАГИ-6-13%, $\alpha_1=10^\circ$, $\alpha_2=25^\circ$, $h=2000$ мм, несущей трубой толщиной 5 мм и диаметром 260 мм. Для обеспечения устойчивости поверхности лопасти к воздействию давления набегающего потока необходимо нанести на ее внутреннюю часть слой пены толщиной 20 мм на участке, ограниченном тремя секциями и более, расположенном вблизи комля. Для исключения потери устойчивости трубы в месте крепления с платформой и уменьшения нагрузки на нее в зоне комля и первой нервюры, необходимо установить внутрь трубу толщиной 20 мм и длиной 1700 мм. Напряженно-деформированное состояние в статике при действии инерционных, аэродинамических и гравитационной нагрузок не превышает 230 МПа при условии правильного конструктивного оформления стыка нервюр (особенно второй по счету от комля) с лонжероном и поверхностями лопасти.

- Требуется проверочные расчеты вентилятора на аэроупругость.

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. / Под ред. Ю.В. Соколкина. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 176 с.
2. Модорский В.Я., Шмаков А.Ф. Параллельный расчет газодинамического процесса в крупногабаритном вентиляторе. // Материалы конференции «Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах (НПС 2014)», 2014 – с. 295-302
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, 2009

05.07.05

П.А. Мошков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ,
Москва, moshkov@mai.ru

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ СВЕРХЛЕГКОГО САМОЛЕТА В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В статье представлены результаты первоначальной обработки данных, полученных при проведении акустических испытаний силовой установки (СУ) сверхлегкого самолета «МАИ-223М» в статических условиях, выполненных на аэродроме МАИ. Представлены энергетические, спектральные, а также характеристики направленности акустического поля силовой установки самолета. Акустическое поле СУ самолета определяется, в основном, излучением в области низких частот. В этой области частот максимальная спектральная плотность соответствует излучению на частотах кратных частоте следования лопастей винта, а также частотам, излучение на которых обусловлено работой поршневого двигателя. Установлена существенная роль поршневого двигателя в низкочастотном шуме силовой установки (16-250 Гц) сверхлегкого самолета. Предложены методы снижения шума на местности сверхлегкого самолета.

Ключевые слова: *воздушный винт, шум воздушного винта, шум поршневой силовой установки, шум легких винтовых самолетов.*

Введение

В связи с интенсивным развитием легкомоторной авиации в нашей стране и за рубежом возникла проблема дальнейшего совершенствования данного вида авиационной техники. Одним из важнейших параметров, во многом определяющим конкурентоспособность современного легкого самолета, является уровень шума, создаваемый самолетом на местности [1]. Основным источником шума на местности данного класса самолетов является силовая установка (СУ), в состав которой входят один или несколько поршневых двигателей и воздушные винты различной конструкции и компоновки. Поэтому исследование акустических характеристик винтомоторных силовых установок представляется актуальным и важным для решения проблем экологии легких винтовых самолетов.

Работа является продолжением исследований автором акустических характеристик винтомоторных силовых установок [2-4], с целью создания в дальнейшем методологии комплексного снижения и прогнозирования шума на местности легких винтовых самолетов.

Акустические характеристики силовой установки самолета

Объект исследования и методика проведения акустических испытаний

В настоящей работе представлены первоначальные результаты акустических испытаний сверхлегкого самолета «МАИ-223М» в статических условиях, выполненных на аэродроме Московского авиационного института (МАИ). Общий вид самолета представлен на рис.1. Стояночный угол самолета составляет 3°. Расстояние от конца лопасти воздушного винта до земли на стоянке составляет 0,324 м.

Силовая установка состоит из четырехцилиндрового четырехтактного поршневого двигателя с оппозитным расположением цилиндров типа ROTAX-912ULS, заключенного в капот, и тянущего трехлопастного воздушного винта фиксированного шага «КиевПРОП» модели «283» диаметром 1,8 м. Двигатель имеет жидкостное охлаждение головок цилиндров и воздушное охлаждение стенок цилиндров. На двигателе установлен редуктор, передаточное число которого равно 0,4115 [5].

Выхлопная система двигателя ROTAX-912ULS организована таким образом, что отработанные газы из четырех цилиндров, через четыре выхлопных патрубка, объединенных в один коллектор, проходят через глушитель шума выхлопа, что, как показали испытания, существенным образом снижает уровень высокочастотной составляющей шума выхлопа двигателя внутреннего сгорания (ДВС).



Рис.1 – Общий вид самолета «МАИ-223М»

Акустические испытания проведены для шести различных режимов работы силовой установки, определяемых частотой вращения коленвала двигателя. Данные о режимах работы двигателя представлены в таблице 1.

Во время испытаний измерялось звуковое давление в 13-ти точках акустического поля, расположенных на дуге окружности радиусом 30 метров и с шагом 15° . Центр дуги совпадал с проекцией втулки винта на земную поверхность. Направление 0° соответствовало излучению в переднюю полусферу в плоскости, проходящей через ось винта, а направление 90° соответствовало направлению излучения в плоскости диска винта. Измерительные микрофоны располагались на уровне земной поверхности, что позволяло исключить влияние интерференции звука на измеряемые уровни шума.

Таблица 1 – Режимы работы двигателя во время испытаний

№ режима	частота вращения коленвала, об/мин
1	4000
2	4200
3	4400
4	4600
5	4800
6	5000

Для регистрации акустических измерений и последующей обработки данных использовалась измерительная система "PORTABLE". Основные параметры регистрации сигнала на цифровом магнитофоне: частота квантования сигнала – 51200 Гц, протяженность записи на одном режиме – 30 с., регистрация полезного сигнала осуществлялась параллельно с 13-ти измерительных каналов. Обработка результатов измерений звукового давления включала в себя получение узкополосных спектров с шириной полосы 1,56Гц в диапазоне частот 0-10000 Гц и третьоктавных спектров звукового давления в диапазоне частот 16-10000 Гц.

Во время испытаний проводилось измерение параметров атмосферы (температуры, давления и относительной влажности), а также скорости и направления ветра.

Энергетические характеристики акустического излучения СУ

На основании измеренных в 13-ти точках акустического поля третьоктавных и узкополосных спектров уровней звукового давления проведен анализ энергетических составляющих акустического поля силовой установки самолета.

На рис. 2 представлены зависимости суммарного уровня звуковой мощности в диапазоне частот 16-10000 Гц, уровня звуковой мощности на частоте первой гармоники шума вращения винта, а также суммарного уровня звуковой мощности в диапазоне частот 16-250 Гц от режима работы СУ, определяемого частотой вращения воздушного винта.

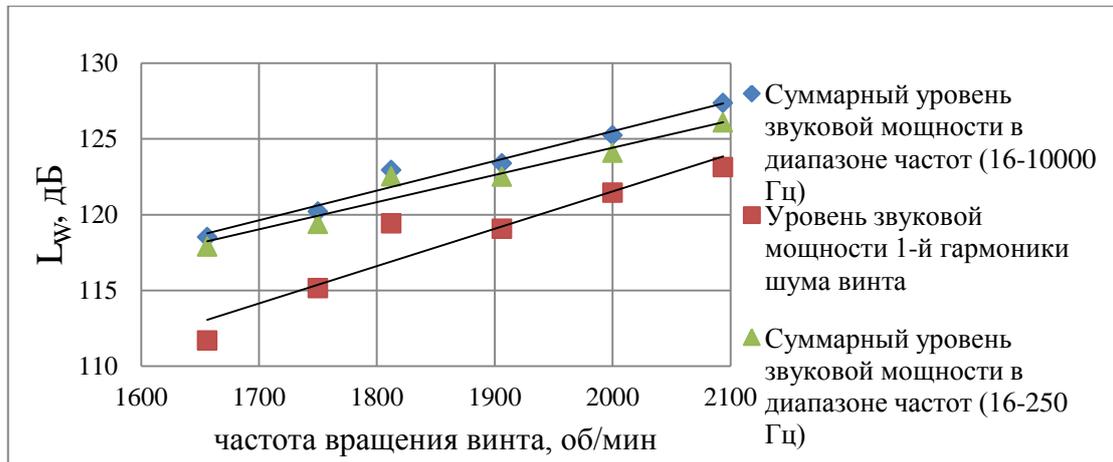


Рис. 2 – Влияние режима работы СУ на суммарный уровень звуковой мощности, на уровень звуковой мощности первой гармоники шума вращения винта, и на суммарный уровень звуковой мощности в диапазоне частот 16-250 Гц

Можно видеть (рис. 2), что излучение в области низких частот (16-250Гц) практически определяет акустическое поле силовой установки на всех режимах работы. В то же время уровень звуковой мощности на частоте первой гармоники шума вращения винта существенно ниже суммарных уровней звуковой мощности в диапазонах частот 16-10000 Гц и 16-250 Гц. Таким образом, излучение на частоте первой гармоники шума вращения не является определяющим в спектре шума СУ и это справедливо для всех режимов работы. Существенная разница в суммарном уровне звуковой мощности в диапазоне частот 16-250 Гц и уровнем первой гармоники шума вращения винта, по-видимому, обусловлена наличием в спектре излучения низкочастотной составляющей, которая связана с работой двигателя.

Рассмотрим теперь вклад различных составляющих излучения в суммарную звуковую мощность СУ самолета «МАИ-223» (таблица 2).

Таблица 2 – Вклад различных составляющих акустического излучения СУ самолета в процентном соотношении в суммарную звуковую мощность в диапазоне частот (16-10000 Гц) для различных режимов работы

№ режима	вклад $W_{(16-250 \text{ Гц})}$, %	вклад $W_{1в}$, %	вклад $W_{2в}$, %	вклад $W_{3в}$, %	вклад $W_{\Sigma 1-3в}$, %	вклад $W_{широк (1000-5000 \text{ Гц})}$, %
1	86,3	20,8	7,7	2,8	31,3	2,3
2	82,8	31,1	7,4	4,4	42,9	2,7
3	90,8	44,6	5,4	0,9	50,9	1,8
4	81,3	37	10,8	1,7	49,5	2,5
5	76,7	41,7	12,8	4,9	59,4	2
6	74,5	37,8	8,8	2,7	49,3	1,6

Где $W_{(16-250 \text{ Гц})}$ - суммарная звуковая мощность в диапазоне частот 16-250Гц, $W_{1в}$ – звуковая мощность акустического излучения на частоте 1-й гармоники шума вращения винта, $W_{2в}$ – звуковая мощность акустического излучения на частоте 2-й гармоники шума вращения винта, $W_{3в}$ – звуковая мощность акустического излучения на частоте 3-й гармоники шума вращения винта, $W_{\Sigma 1-3в}$ – суммарная звуковая мощность первых трех гармоник шума вращения винта, $W_{широк (1000-5000 \text{ Гц})}$ – звуковая мощность суммарного широкополосного излучения в области частот 1000-5000 Гц.

Для режимов 1-3 в диапазон частот в третьоктавных полосах 16-250 Гц попадают первые три гармоники шума вращения винта, а для режимов 4-6 только две гармоники. Наличие существенной разницы между вкладом суммарного излучения в области частот 16-250 Гц и суммой первых трех гармоник шума винта для режимов 1-3 и первых двух гармоник шума винта для режимов 4-6 (таблица 2) свидетельствует о существенной роли излучения от поршневого двигателя в суммарном низкочастотном излучении от СУ. Можно ожидать, что наличие глушителя в выхлопном тракте двигателя привело к существенному снижению высокочастотной составляющей шума выхлопа.

На основании измеренных матриц уровней звукового давления в 13-ти точках рассчитано значение акустического КПД, которое показывает соотношение между эффективной мощностью двигателя и мощностью акустического излучения СУ. Максимальное значение акустического КПД получено для режима 6, оно оказалось равным $\sim 0,01\%$. Данное значение несколько ниже опубликованных ранее данных об акустических КПД СУ самолетов «Як-18Т» [2] и «Вильга-35А» [3] равных 0,15 и 0,123%, соответственно. Это объясняется тем, что рассматриваемый режим 6 работы СУ самолета «МАИ-223М» соответствует крейсерскому режиму, а для самолетов «Як-18Т» и «Вильга-35А» опубликованные значения КПД соответствуют взлетному режиму работы СУ. Кроме того, на самолетах «Як-18Т» и «Вильга-35А» не устанавливаются глушители шума выхлопа ДВС и, поэтому, скорее всего даже на взлетном режиме работы акустический КПД рассматриваемой винтомоторной СУ самолета «МАИ-223М» с глушителем шума выхлопа был бы существенно меньше, чем в случае не заглушенного выхлопа.

Спектральные характеристики акустического поля СУ

На рис. 3а, б представлены узкополосный и третьоктавный спектры уровней звукового давления при работе СУ самолета на режиме 5. В спектрах можно выделить три характерных диапазона частот: диапазон частот ниже первой гармоники шума вращения винта (ниже 100 Гц), где преобладает широкополосное излучение; область частот 100-1000 Гц, где наибольшая спектральная плотность соответствует гармоническому излучению от винта и от двигателя; и область частот свыше 1000 Гц, где уровни гармонических составляющих уже не выделяются на фоне широкополосного шума.

На рис. 3а обозначены первые четыре гармоники на частотах кратных частоте следования лопастей воздушного винта ($f_{1В}$, $f_{2В}$, $f_{3В}$, $f_{4В}$), а также первая гармоника на частоте следования вспышек в цилиндре ($f_{1Ц}$) и первая гармоника шума выхлопа двигателя ($f_{1Д}$).

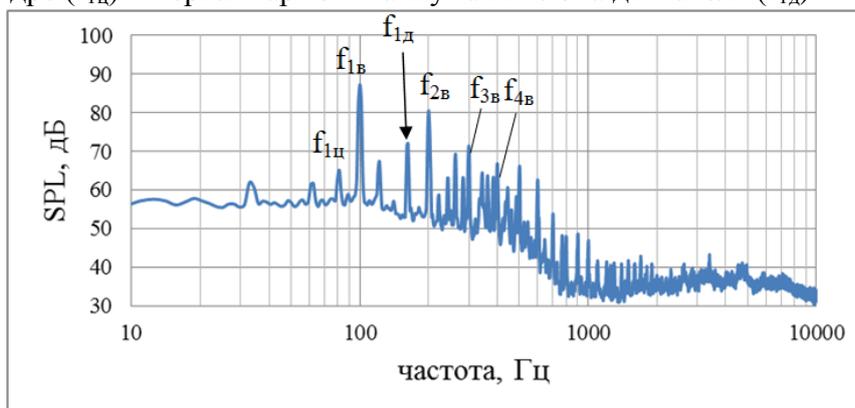


Рис. 3а – Узкополосный спектр уровней звукового давления в диапазоне частот 10-10000 Гц с шириной полосы 1,56 Гц при работе СУ самолета в статических условиях (режим 5, $\varphi=105^\circ$)

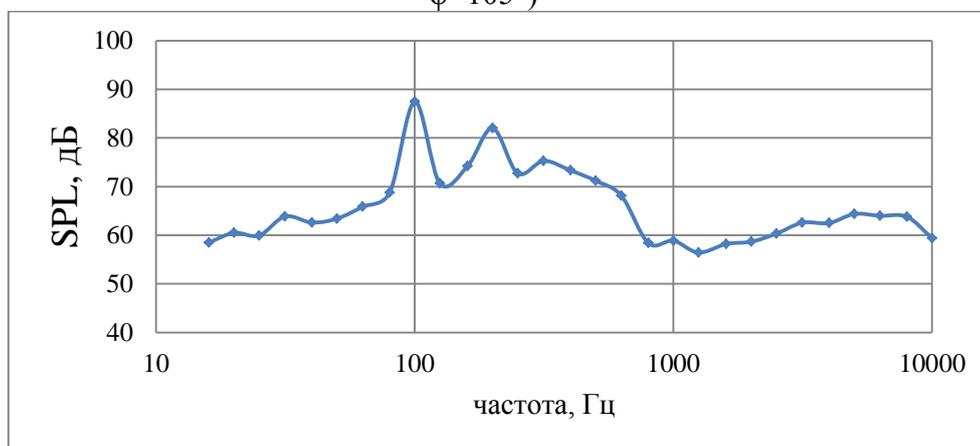


Рис. 3б – Третьоктавный спектр уровней звукового давления в диапазоне частот 16-10000 Гц при работе СУ самолета в статических условиях (режим 5, $\varphi=105^\circ$)

Таким образом, спектр акустического излучения СУ самолета «МАИ-223М» включает в себя широкополосную и гармоническую составляющие. Источниками гармонического излучения являются: воздушный винт, камера сгорания ДВС и система выхлопа двигателя. Вероятным источником широкополосного излучения в области высоких частот (свыше 1000 Гц) является турбулентный след за лопастями винта.

Характеристики направленности акустического поля СУ

На рис. 4 представлены характеристики направленности суммарного излучения в диапазоне частот 16-10000 Гц, направленности излучения в области низких частот (16-250 Гц), а также излучения на частотах первой, второй и третьей гармоник шума вращения винта, и суммарного широкополосного излучения в диапазоне частот 1000–5000 Гц при работе СУ в статических условиях на режиме 5.

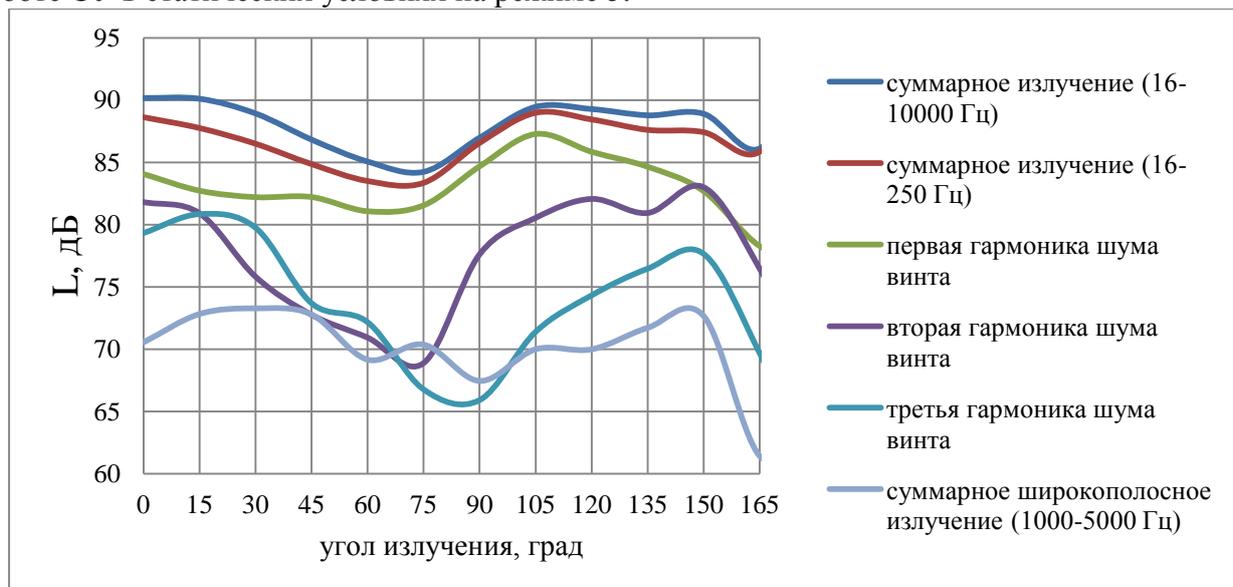


Рис. 4 – Характеристики направленности суммарного излучения и отдельных его составляющих для режима 5

Максимумы суммарного излучения в области частот 16-10000 Гц, суммарного излучения в области низких частот (16-250 Гц) и излучения на частоте первой гармоники шума вращения винта расположены в задней полусфере и соответствуют азимутальному углу 105°. Также можно видеть (рис. 4), что суммарное излучение области низких частот (16-250 Гц) определяет характеристику направленности всего излучения (16-10000 Гц) от СУ во всем рассматриваемом диапазоне углов.

В целом можно отметить, что представленные на рис. 4 характеристики направленности суммарного излучения, а также отдельных его составляющих соответствуют источникам шума дипольного типа.

Полученные характеристики направленности суммарного акустического излучения (16-10000 Гц) от СУ, а также его отдельных составляющих не противоречат выполненным ранее исследованиям [2-4], а также результатам численных и экспериментальных исследований других авторов [6-8].

О снижении шума СУ сверхлегкого самолета

Для существенного снижения уровня шума сверхлегкого самолета с поршневым двигателем на местности необходим комплексный подход, заключающийся в снижении шума СУ, т.е. шума, излучаемого воздушным винтом и шума, излучаемого ДВС. Снижение шума воздушного винта является достаточно сложной задачей. Решение ее основано на оптимизации геометрических, аэродинамических и акустических характеристик воздушного винта. Интенсивность акустического излучения винта при условии сохранения неизменной тяги можно снизить за счет оптимизации соотношения между числом лопастей, диаметром винта и величиной окружной скорости по критерию минимальной мощности акустического излучения. Для снижения шума, излучаемого поршневым двигателем, необходимо

применять глушители шума в трактах всасывания и выхлопа ДВС. Так как на самолете «МАИ-223М» уже установлен глушитель шума выхлопа двигателя, то представляет интерес рассмотреть возможность установки глушителя с увеличенным объемом резонатора, по сравнению со штатным глушителем фирмы ROTAX. Увеличение объема резонатора может привести к существенному уменьшению уровней излучаемого шума в области низких и средних частот.

Заключение

Таким образом, в результате выполненного исследования установлено, что определяющим источником шума СУ сверхлегкого самолета «МАИ-223М» является излучение в области низких частот (16-250 Гц). В этой области частот максимальная спектральная плотность соответствует излучению на частотах кратных частоте следования лопастей, а также на частотах, излучение на которых обусловлено работой поршневого двигателя. Выполнена оценка вклада различных составляющих излучения в суммарную звуковую мощность СУ самолета. Показано, что акустический КПД СУ самолета на крейсерском режиме работы (режим 6) равен ~0,01%. В работе получены характеристики направленности суммарного излучения СУ и отдельных его составляющих. В статье предложены методы, которые могут быть использованы для снижения шума на местности данного сверхлегкого самолета.

Автор статьи выражает благодарность сотрудникам Летного комплекса Отраслевого специального конструкторского бюро экспериментального самолетостроения МАИ и начальнику авиабазы МАИ Кожевникову Е.В. за помощь в организации и проведении акустических испытаний.

Список литературы

1. Охрана окружающей среды. Приложение 16 к конвенции о международной гражданской авиации. Том 1. Авиационный шум. Издание шестое, Июль 2011.
2. Самохин В.Ф., Мошков П.А. Акустические характеристики легкого винтового самолета с двигателем внутреннего сгорания// Электронный журнал «Труды МАИ», 2012, выпуск № 57: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=30715> (дата публикации 30.06.2012).
3. Самохин В.Ф., Мошков П.А. Исследование акустических характеристик легкого винтового самолета «Вильга-35А» на режимах горизонтального полета// Вестник МАИ, 2014, Т.21, №2, С.55-65.
4. Самохин В.Ф., Остроухов С.П., Мошков П.А. Экспериментальное исследование источников шумности беспилотного летательного аппарата с винто-кольцевым движителем в толкающей компоновке// Электронный журнал «Труды МАИ», 2013, выпуск № 70: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=44459> (дата публикации 25.11.2013).
5. Руководство по технической эксплуатации самолета «МАИ-223М», Москва, 2013, С. 148.
6. Ianniello, S., Mascio, A. D., Salvatore, F., Sollo, A., Aversano, M., and Gennaretti, M., Evaluation of Noise Excess for Pushing Propeller Aircraft by CFD Aeroacoustic Calculation, *AIAA Paper 2004-3006*, May 2004, p. 17.
7. Hanson D.B., Parzych D.J. Theory for noise of propellers in angular inflow with parametric studies and experimental verification. *NASA CR*, 1993, no. 4499, p.108.
8. Marulo F., Sollo, A., Aversano, M., Polimero, U., and Perna, F., Measurement and Prediction of Community Noise of a Pusher-Propeller General Aviation Aircraft, *AIAA Paper 2005-2984*, May 2005, p. 8.

05.07.05

П.А. Мошков, А.А. Яковлев

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ,
Москва, moshkov@mai.ru, tempero.m@gmail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАПОТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВИАЦИОННОЙ ПОРШНЕВОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

В статье представлены результаты экспериментально исследования влияния капотирования двигателя на акустические характеристики авиационной поршневой силовой установки. Выполнена оценка вклада основного тона двигателя в суммарную звуковую мощность силовой установки сверхлегких самолетов «МАИ-223М» и «МАИ-890У». Предложен способ снижения шума на местности сверхлегкого самолета «МАИ-890У».

Ключевые слова: шум поршневой силовой установки, шум легких винтовых самолетов.

Введение

В связи с интенсивным развитием малой авиации в нашей стране и за рубежом возникла проблема дальнейшего совершенствования винтомоторных силовых установок, включающих один или два поршневых двигателя и воздушные винты различной конструкции и компоновки. Одним из существенных параметров, во многом определяющим рентабельность и конкурентоспособность современного самолета является уровень шума самолета на местности, поскольку существует тенденция к ужесточению действующих норм ИКАО [1] на предельно-допустимые уровни шума на местности легких винтовых самолетов. Данная работа была выполнена с целью определения влияния капотирования авиационного поршневого двигателя на его шумовые характеристики, а также с целью определения роли излучения на частоте основного тона двигателя в суммарном акустическом излучении от СУ самолета.

О шуме поршневых двигателей внутреннего сгорания

Поршневой двигатель в процессе своей работы генерирует акустическое излучение, которое распространяется в окружающую среду через каналы всасывания и выхлопа, а также через стенки цилиндров (структурный шум). Основными источниками шума в поршневом двигателе являются аэродинамические и механические процессы, сопровождающие впуск топливо-воздушной смеси в камеру сгорания (так называемый шум «всасывания»), горение и выпуск отработавших газов (шум «выхлопа»), а также процессы трения и удары при механическом перемещении деталей двигателя друг относительно друга в сочленениях и стыках.

Незаглушенный аэродинамический шум намного превосходит по уровню структурный шум. Однако, при наличии в системах газообмена эффективных заглушающих устройств влияние составляющих аэродинамического шума на общий уровень акустического излучения ДВС далеко не всегда является определяющим [2].

Объекты исследования и методика проведения акустических испытаний

Для оценки влияния капотирования двигателя на излучаемые им уровни шума была выполнена гонка силовых установок (СУ) легких самолетов «МАИ-223М» и «МАИ-890У» в статических условиях. Силовая установка самолета «МАИ-223М» включает в себя двигатель «ROTAХ-912ULS», заключенный в капот, и тянущий трехлопастной воздушный винт фиксированного шага. В свою очередь, силовая установка самолета «МАИ-890У» включает в себя двигатель «ROTAХ-912ULS» без капота и толкающий трехлопастной воздушный винт фиксированного шага (рис. 1). Двигатель имеет жидкостное охлаждение головок цилиндров и воздушное охлаждение стенок цилиндров [3]. Система выхлопа двигателя «ROTAХ-

912ULS» организована таким образом, что отработанные газы из четырех цилиндров через четыре выхлопных патрубка, объединенных в один коллектор проходят через глушитель шума выхлопа, что, по-видимому, позволяет существенным образом снизить высокочастотную составляющую шума ДВС.



Рис. 1 – Общий вид СУ самолета «МАИ-890У»

Акустические испытания проведены для шести различных режимов работы силовой установки, определяемых различной частотой вращения коленвала двигателя. Режимы работы СУ самолетов соответствовали частотам вращения коленвала двигателя в диапазоне от 4000 до 5000 об/мин с шагом 200 об/мин.

Во время испытаний измерялось звуковое давление в 13-ти точках акустического поля, расположенных на дуге окружности радиусом 30 метров и с шагом 15°. Центр дуги совпадал с проекцией втулки винта на земную поверхность. Направление 0° соответствовало излучению в переднюю полусферу в плоскости, проходящей через ось винта (относительно направления движения самолета), а направление 90° соответствовало направлению излучения в плоскости диска винта. Измерительные микрофоны располагались на уровне земной поверхности, что позволяло исключить влияние интерференции звука на измеряемые уровни шума.

Для регистрации акустических измерений и последующей обработки данных использовалась измерительная система "PORTABLE". Основные параметры регистрации сигнала на цифровом магнитофоне: частота квантования сигнала – 51200 Гц, протяженность записи на одном режиме – 30 с., регистрация полезного сигнала осуществлялась параллельно с 13-ти измерительных каналов. Обработка результатов измерений звукового давления включала в себя получение узкополосных спектров с шириной полосы 1,56Гц в диапазоне частот 0-10000 Гц и третьоктавных спектров звукового давления в диапазоне частот 16-10000 Гц.

Энергетические характеристики акустического поля двигателя

На основании измеренных в 13-ти точках акустического поля третьоктавных и узкополосных спектров уровней звукового давления можно выполнить энергетический анализ акустического поля силовой установки самолетов «МАИ-223М» и «МАИ-890У». То есть установить влияние капотирования двигателя на энергетические характеристики акустического поля двигателя и оценить роль излучения на частоте основного тона двигателя в суммарном шуме рассматриваемых силовых установок. Основной тон двигателя определяется излучением на расчетной частоте (1) кратной частоте вращения коленвала и кратной числу цилиндров двигателя.

$$f_{1д} = \frac{ni}{30\tau} \quad (1)$$

Где n – частота вращения коленвала двигателя (об/мин), i – число цилиндров, соединенных с одним выхлопным коллектором, τ – тактность двигателя.

Затем для каждого режима работы СУ определялся уровень звуковой мощности на частоте излучения основного тона двигателя, а также суммарный уровень звуковой мощности СУ [4]:

$$L_W = 10 \lg(\pi R^2 \int_0^\pi 10^{L/10} \sin(\varphi) d\varphi) \quad (2)$$

Где R - расстояние от источника до точки измерения шума, φ – угол направления излучения и соответствующий ему уровень звукового давления – L.

На рис. 2 представлены зависимости уровня звуковой мощности от режима работы СУ для заключенного в капот двигателя СУ самолета «МАИ-223М» и для двигателя СУ самолета «МАИ-890У» без капота.

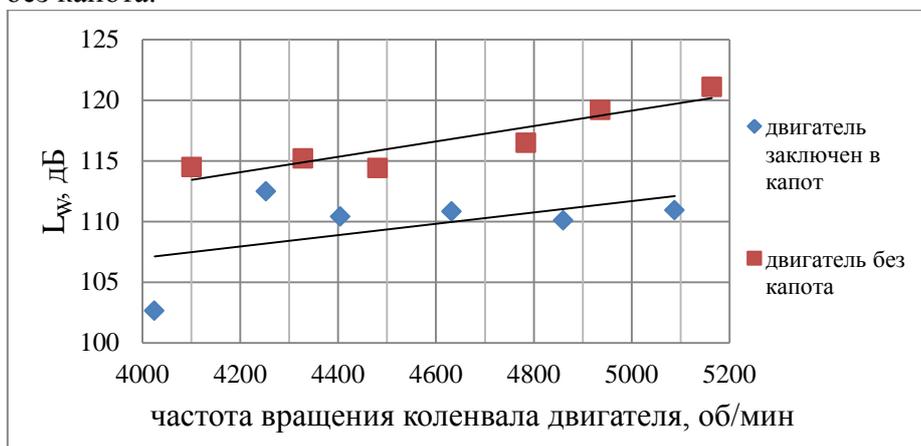


Рис. 2 – Влияние капотирования двигателя на уровень звуковой мощности основного тона двигателя при различных режимах работы СУ

Можно видеть (рис. 2), что заключение двигателя в капот приводит к снижению уровней звуковой мощности основного тона двигателя от 2 до 7дБ в зависимости от режима работы СУ. Таким образом, можно констатировать, что существенная часть акустической энергии поршневого двигателя на частоте основного тона излучается через стенку двигателя. А заключение двигателя в капот может быть предложено на основании полученных экспериментальных данных как один из конструктивных способов существенного снижения шума силовой установки самолета «МАИ-890У».

Представляет интерес оценить вклад основного тона двигателя в суммарную звуковую мощность СУ рассматриваемых самолетов. Результаты расчетной оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Вклад основного тона двигателя (в процентном соотношении) в суммарную звуковую мощность СУ самолетов «МАИ-890У» (двигатель без капота) и «МАИ-223М» (двигатель заключен в капот) в зависимости от режима работы СУ

№ режима	Вклад основного тона двигателя («МАИ-890У»), %	Вклад основного тона двигателя («МАИ-223М»), %
1	18,5	3
2	19,5	17
3	12	6
4	14,8	6
5	18,2	3
6	18,2	2,5

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что заключение двигателя в капот, как правило, приводит к существенному снижению вклада основного тона двигателя в суммарную звуковую мощность СУ самолета.

Заключение

Таким образом, в результате выполненного исследования установлено, что капотирование двигателя приводит к существенному снижению уровня звуковой мощности основного тона двигателя на всех рассматриваемых режимах работы. Выполнена количественная оценка вклада основного тона двигателя в суммарную звуковую мощность СУ сверхлегких

самолетов. Установлено, что заключение двигателя «ROTAX-912ULS» в капот может быть рассмотрено как один из конструктивных вариантов снижения шума на местности сверхлегкого самолета «МАИ-890У».

Список литературы

1. Охрана окружающей среды. Приложение 16 к конвенции о международной гражданской авиации. Том 1. Авиационный шум. Издание шестое, Июль 2011.
2. Шум автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие/ *М.Г. Шатров, А.Л. Яковенко, Т.Ю. Кричевская.* – М.: МАДИ, 2014. – 68 с.
3. Руководство по технической эксплуатации самолета «МАИ-223М», Москва, 2013, 148 с.
4. Расчеты и измерения характеристик шума, создаваемого в дальнем звуковом поле реактивными самолетами/ *Под. ред. Л.И. Соркина.* – М.: Машиностроение, 1968, 95 с.

05.07.05

П.А. Мошков, А.А. Яковлев

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, moshkov@mai.ru, tempero.m@gmail.ru

К ВОПРОСУ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ШУМА ВОЗДУШНОГО ВИНТА

В статье рассмотрена проблема численного расчета шума воздушного винта, дан краткий обзор механизмов генерации шума воздушным винтом и существующих аналитических моделей численного расчета шума воздушного винта. Сформулированы основные направления дальнейших расчетных исследований, направленных на следующем этапе работ на тестирование возможности прогнозирования аэродинамических и акустических характеристик воздушных винтов в коммерческих программных комплексах (ANSYS, Numeca, FlowVision).

Ключевые слова: *воздушный винт, шум воздушного винта, шум легких винтовых самолетов.*

Введение

Проблема прогнозирования шума воздушных винтов перспективных самолетов и снижения шума уже эксплуатируемых воздушных винтов является весьма актуальной для легких винтовых самолетов общего назначения, поскольку действуют нормы ИКАО на предельно допустимые уровни шума таких самолетов на местности [1]. В то же время, решение этой задачи основано на оптимизации геометрических, аэродинамических и акустических характеристик воздушного винта. Интенсивность акустического излучения винта при условии сохранения неизменной тяги можно снизить за счет оптимизации соотношения между числом лопастей, диаметром винта и величиной окружной скорости по критерию минимальной мощности акустического излучения. Для решения подобного рода оптимизационных задач необходимо иметь возможность качественного численного прогнозирования аэродинамических и акустических характеристик воздушных винтов, поскольку подход к оптимизации геометрии лопастей воздушных винтов путем проведения многочисленных экспериментальных исследований требует огромных затрат.

Основные подходы к вопросу численного моделирования шума воздушного винта

Акустическое излучение воздушного винта является сложным по своей структуре, а причины, вызывающие генерацию акустического излучения, весьма разнообразны. Шум воздушного винта образуется, в основном, в результате силового взаимодействия лопастей с окружающей средой в процессе создания тяги и при вытеснении воздуха из фиксированного объема среды лопастями. Генерация акустического излучения происходит также при аэродинамическом взаимодействии лопастей с турбулентными образованиями в набегающем потоке. При рассмотрении шум винта подразделяют на шум вращения и вихревой (широкополосный) шум. Обычно интенсивность вихревого шума на 15—20 дБ ниже уровня гармоник шума вращения, а максимум его спектра находится в области сравнительно высоких частот (рис. 1).



Рис. 1 - Типичный спектр шума воздушного винта

Тональный шум, генерируемый винтом, можно вычислить на основе решения уравнения Фокс-Вильямса-Хоукинса [2]. При этом компоненты гармонического шума это, так называемые, шум от вытеснения и шум от аэродинамической нагрузки рассчитываются через интегралы по поверхности лопасти [3]. Квадрупольным вкладом, соответствующим нелинейным членам, распределенным в возмущенной области вокруг лопасти, как правило, пренебрегают.

В то же время существует альтернативная акустическая модель для расчета тонального шума лопаточных машин, основанная на переходе от пульсаций давления по размаху лопасти к излучаемым акустическим модам [4,5].

В обоих представленных случаях подхода к акустическому расчету винта необходимо для начала выполнить численный расчет аэродинамических характеристик винта. Основным в данном случае методом является расчет аэродинамики винта в рамках трехмерных уравнений Рейнольдса [6]. Этот подход основан на нелинейном трехмерном расчете с учетом всех важных особенностей геометрии и течения. В рамках такого подхода можно рассчитывать аэродинамику винта практически на всех режимах и учитывать его интерференцию с другими частями самолета [7]. Но на современном уровне развития вычислительной техники использовать эти методы для оптимизации геометрии винта невозможно из-за длительности расчета. Для анализа данного подхода будем рассматривать варианты решения данной задачи в различных прикладных программных комплексах, таких как ANSYS, Numeca, FlowVision. В задаче аэродинамического расчета будет решена система уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу. Расчеты будут выполнены, используя классические модели турбулентности *SST* и $k - \varepsilon$.

В то же время перед использованием любого программного продукта необходимо разработать методологию его применения, определить точность получаемых результатов и область применения разработанной методологии. Методология включает в себя: математическую постановку задачи, решаемую систему уравнений, решатель (метод решения, схема и т.д.), тип расчетной сетки, рекомендации к типу и качеству расчетной сетки, граничные и начальные условия, обработку получаемых данных.

Для оценки точности выбранного инструмента создан тестовый случай на основе экспериментальных данных, полученных при акустических испытаниях натурального воздушного винта «АВ-2», входящего в состав силовой установки самолета «Ан-2». Экспериментальное исследование было выполнено на аэродроме Московского авиационного института. В ходе него были получены спектральные, интегральные, энергетические, а также характеристики направленности акустического поля силовой установки самолета, как в полетных, так и в статических условиях при различных режимах работы.

Постановка задачи аэроакустической оптимизации воздушного винта

На данном этапе работы помимо экспериментального исследования акустических характеристик воздушного винта «АВ-2», была выполнена параметрическая 3D-модель лопасти воздушного винта «АВ-2» и в последующем 3D-модель воздушного винта (рис. 2). Моделирование выполнялось в системе автоматизированного проектирования NX.

Параметризация лопасти позволит в дальнейшем рассмотреть задачу аэроакустической оптимизации данного воздушного винта.

На втором этапе предстоит выполнить тестирование возможностей численных программных комплексов в рамках прогнозирования акустического поля воздушного винта.

На третьем этапе после верификации программных кодов будет рассмотрена задача аэроакустической оптимизации за счет изменения геометрии, числа лопастей, окружной скорости, шага и других основных параметров данного винта при условии сохранения неизменной тяги и КПД.

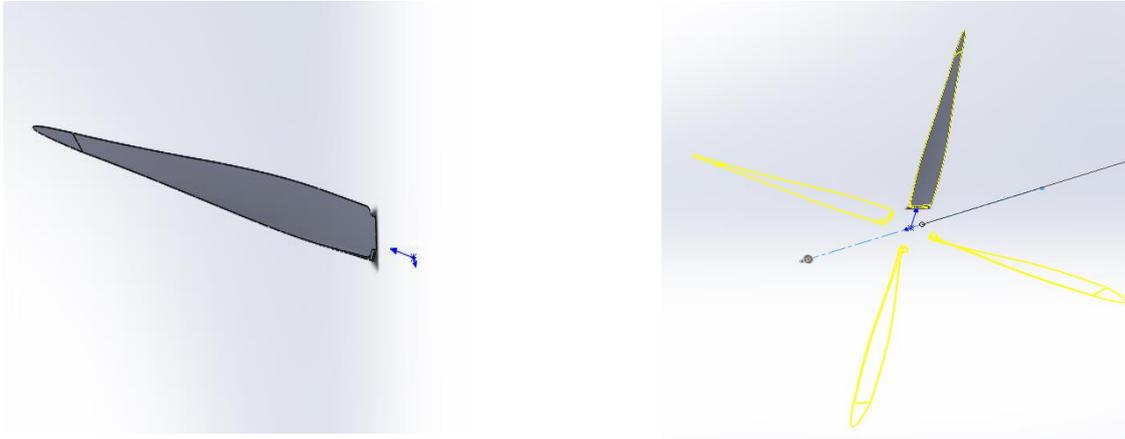


Рис. 2 – 3D-модель лопасти воздушного винта (слева) и 3D-модель винта «АВ-2» для расчета (справа)

Заключение

Таким образом, на данном этапе работы были выполнены экспериментальные исследования акустических характеристик воздушного винта «АВ-2» в полетных и в статических условиях, а также выполнена параметрическая 3D-модель винта. На следующем этапе работы будет выполнено численное моделирование шума натурального винта «АВ-2» при различных режимах работы с целью тестирования возможностей коммерческих программных комплексов (ANSYS, Numeca, FlowVision) при решении задачи прогнозирования шума воздушных винтов.

Список литературы

1. Охрана окружающей среды. Приложение 16 к конвенции о международной гражданской авиации. Том 1. Авиационный шум. Издание шестое, Июль 2011.
2. Ffowcs Williams, J.E. and Hawkins, D.L. Sound Generated by Turbulence and Surfaces in Arbitrary Motion.// *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, Vol. A264, No. 1151, 1969, pp. 321—342.
3. D.B. Hanson, D.J. Parzych. Theory for noise of propellers in angular inflow with parametric studies and experimental verification.// NASA Contractor Report 4499. 1993.
4. Timouchev S, Turret J. Prediction of BPF Pressure Pulsation Field In Centrifugal Pumps And Ventilators.// 4th European Conference on Turbomachinery. Florence, Italy 20-23 Mach, 2001.
5. Timouchev S., Turret J. Numerical Simulation of BPF Pressure Pulsation Field In Centrifugal Pumps.// 19th International Pump Users Symposium, February 2002, Houston, Texas.
6. Reynolds O. On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion.// *Phil. — Trans. Of the Roy. Soc*, 1895.
7. А.В. Лысенков, С.В. Павлик. Разработка методологии расчета аэродинамических характеристик воздушных винтов.//Труды МФТИ, 2013, Т.5, №3, С.174-186.

05.16.08

А.А. Наненков, В.М. Готовцев, В.Д. Сухов, А.И. Сазонов

Ярославский государственный технический университет,
инженерно-экономический факультет, кафедра управление предприятием,
Ярославль, sukhovvd@ystu.ru

ЭФФЕКТ СТРУКТУРИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сформулированы требования к оптимальной структуре композиционных материалов, наполненных частицами. На примере асфальтобетона экспериментально подтвержден эффект структурирования композита. Предложен способ получения упорядоченной упаковки частиц наполнителя в структуре композиционного материала.

Ключевые слова: *структура композитных материалов, структурирование композита, строение асфальтобетона.*

Класс композиционных материалов, наполненных частицами, чрезвычайно широк. Достаточно сказать, что большинство строительных материалов относятся именно к этому классу. Структура таких материалов сформирована из твердых частиц, соединенных жидкими прослойками связующего, затвердевающего либо под действием температуры, либо химической реакции.

Основные положения теории строения композиционных материалов применительно к асфальтобетону были сформулированы в начале прошлого века разработчиком нового научного направления физико-химической механики, академиком П.А. Ребиндером. Он утверждал: «Самый простой путь повышения прочности любого твердого тела почти до идеального потолка состоит в измельчении его до частиц, по порядку величины соответствующих расстояниям между опасными слабыми местами. Если такие частицы плотно упаковать или склеить тончайшими, а потому тоже высокопрочными после затвердевания, прослойками, полученный материал будет плотным, непроницаемым для жидкостей и газов, макрооднородным, высокопрочным и долговечным» [1].

По представлениям П.А. Ребиндера на поверхности минеральных частиц асфальтобетонной смеси образуются диффузионные структурированные оболочки битума, плотность и вязкость которых имеют наивысшее значение непосредственно у границы раздела битум – минеральный материал. По мере удаления от этой границы вязкость и плотность битума убывают и в зоне перехода структурированной оболочки в свободный битум принимают номинальные значения, т.е. те значения, которыми характеризуется материал в обычных условиях (свободный битум).

Отличие свойств битума в тонких слоях от свойств объемного битума в значительной мере определяются характером молекулярных взаимодействий на границе раздела твердой и жидкой фаз. Носителями тонких ориентированных слоев битума являются частицы минерального порошка, который обладает наиболее развитой реагирующей поверхностью. На его долю приходится до 90-95% от общей поверхности минеральных частиц, входящих в состав асфальтобетона. При определенном соотношении компонентов бинарной смеси «битум – минеральный порошок» достигается наиболее прочная пространственная структура материала, обусловленная действием межмолекулярных сил. По данным Л.Б. Гезенцевей [2] концентрация битума в такой смеси должна составлять около 13%.

При такой концентрации толщины пленок между частицами минерального порошка становятся соизмеримыми с радиусами дальнего действия межмолекулярных сил притяжения, т.е. образуется пленочная нано структура, а изменения свойств материала, сопровождающие ее, получили название эффекта структурирования. Однако для коренного изменения свойств

материала необходимо, чтобы битумные нано пленки равномерно распределялись в объеме материала, т.е. расположение зерен минерального порошка носило упорядоченный характер.

Технологическим приемом, обеспечивающим получение упорядоченной структуры композита, может быть гранулирование окатыванием [3]. Такой технологический прием широко использовался для получения гранулированных минеральных удобрений. Гранулирование осуществляют во вращающихся барабанных грануляторах цилиндрической или чашеобразной формы. Гранулируемый порошкообразный материал вводят в рабочий объем гранулятора и смачивают небольшим количеством связующего материала. В процессе движения материала вдоль стенок барабана образуются агломераты частиц, на которые накатывается зерна порошка с образованием гранул округлой формы. Рост гранул происходит вследствие попеременного ввода порошкообразной фракции и связующего в массу обрабатываемого материала.

Формирование упорядоченной структуры дисперсного материала в грануле обусловлено характером действующих на частицы сил в процессе образования и роста гранулы. Зерна порошка в процессе движения контактируют с поверхностью образовавшихся гранул. В ходе такого контакта возможны два исхода: а) частица порошка прилипла к смоченной поверхности гранулы; б) частица порошка вошла в контакт с гранулой, но была сорвана с ее поверхности движущимся материалом. Реализация того или иного исхода зависит от значений действующих на зерно порошка сил. Здесь следует выделить два вида сил: силы, стремящиеся сорвать частицу со смоченной поверхности гранулы; силы, удерживающие частицу на поверхности. Соотношением этих сил определяется исход контакта зерна минерального порошка и гранулы.

Силы первого вида – это динамические силы, возникающие в результате движения материала в объеме барабана. Значения этих сил зависят от режима движения барабана, его диаметра, уровня загрузки барабана материалом, свойств обрабатываемого материала и многих других факторов. Силы второго вида (удерживающие силы) обусловлены действием межмолекулярного вандерваальсового притяжения. Значения этих сил зависят от свойств смачивающей жидкости и характера взаимодействия жидкой и твердой фаз дисперсной системы. В случае хорошего смачивания жидкостью твердой поверхности силы межмолекулярного притяжения резко возрастают с уменьшением толщин битумных прослоек.

В соответствии с этим значение удерживающей силы будет зависеть от толщины смачивающего слоя на поверхности гранулы и площади контакта частицы порошка с гранулой. При этом, чем меньше толщина смачивающего слоя на поверхности гранулы, тем сильнее будет притягиваться зерно порошка к образовавшейся грануле. Этот фактор определяет значение вандерваальсового напряжения притяжения частиц, а значение удерживающей силы будет равно произведению напряжения на площадь контакта частицы и гранулы. При недостаточной площади контакта частица порошка будет сорвана с поверхности растущей гранулы, а при хорошем контакте войдет в ее состав. Именно этим обеспечивается упорядоченное строение структуры материала гранулы.

Использование описанной технологии позволило получить асфальтовязующее (смесь минерального порошка с битумом) в виде гранул диаметром 3-4 мм, из которых были сформованы и испытаны в соответствии с ГОСТ 9128-2009 образцы асфальтобетона. Основу материала составил минеральный порошок МП-1, а в качестве связующего использован дорожный битум БНД 60-90 в количестве 13,6% по весу. Предел прочности материала на сжатие при 20⁰ С составил 9,00 МПа, что является очень высоким показателем, недостижимым для большинства асфальтобетонных смесей. Здесь следует отметить, что асфальтовязующее с таким же содержанием минерального порошка и битума, полученное простым смешением в лабораторном асфальтосмесителе, обеспечивает прочность образцов асфальтобетона 1,08 МПа, что является неоспоримым доказательством проявления эффекта структурирования материала.

Таким образом структурирование композита повышает его прочностные показатели практически на порядок, что по понятным причинам не может быть случайным. Таким образом появляется возможность создания материала с принципиально новыми свойствами, что подтверждено получением патента на способ производства асфальтобетонной смеси [4]. Далее проведем оценку возможности отнесения эффекта структурирования к разряду наноэффектов. Для этого необходимо определить толщину битумных прослоек между частицами минерального порошка. Прямое измерение этой величины весьма проблематично.

Однако можно воспользоваться соображениями, позволяющими оценить порядок этой величины. Удельная поверхность минеральных порошков, вырабатываемых отечественными предприятиями, является стандартным показателем и приводится в паспорте материала. Для минерального порошка МП-1 она составляет 300-350 м²/кг. Тогда можно определить толщину битумной пленки, необходимой для распределения 13,6% битума в массе асфальтовяжущего. Проведя простой расчет, получим оценку толщины битумных пленок порядка 10⁻⁷ м, т.е. 100 нм.

Проведенный расчет показывает, что эффект структурирования наполненных частицами композиционных материалов может быть отнесен к разряду наноэффектов.

Список литературы

1. *Ребиндер П.А.* Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Ч. Физико-химическая механика. – М.: Наука, 1979. – 469 с.
2. *Гезенцевей Л.Б.* Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. – М.: Изд-во по строительству, 1971. – 255 с.
3. *Класен П.В., Гришаев И.Г.* Основы техники гранулирования. – М.: Химия, 1982. – 272 с.
4. Патент РФ №2182136, 10.05.2002.

05.17.08

А.А. Наненков, В.М. Готовцев, В.Д. Сухов, А.И. Сазонов

Ярославский государственный технический университет,
инженерно-экономический факультет, кафедра управление предприятием,
Ярославль, sukhovvd@ystu.ru

МЕХАНИЗМ СТАРЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

В работе рассмотрены существующие представления о старении высокомолекулярных материалов, включающие процессы деструкции и структурирования под влиянием внешних воздействий. Установлено, что «старый» асфальтобетон способен частично или полностью на молекулярном уровне восстанавливать свои свойства.

Ключевые слова: *асфальтобетон, старение асфальтобетона, восстановление асфальтобетона.*

Проблема повторного использования асфальта возникла с момента появления первых асфальтовых покрытий и в настоящее время становится особенно актуальной. Объем ежегодно снимаемого старого асфальта измеряется миллионами тонн, и в ближайшее время будет только расти в связи с большими планируемыми объемами ремонтных работ, которые требуют предварительного снятия слоя старого покрытия. О важности этой проблемы свидетельствует тот факт, что на XIII Всемирной конференции международной дорожной федерации в числе других обсуждался вопрос о методах использования старого асфальта, свойствах и технико-экономической эффективности применения регенерированного асфальта.

В настоящее время известно и реально используется в практике дорожного строительства большое количество способов переработки старого асфальта, в связи с чем возникает проблема выбора наиболее приемлемого из них в данной конкретной ситуации. Для получения качественного дорожного покрытия с использованием вторичного асфальтобетона необходимо иметь представление о механизме старения материала и возможности его дальнейшей регенерации. Восстановление свойств асфальтобетона составляет глобальную проблему, в связи с чем возникает необходимость в изучении подходов к описанию механизма старения материала и возможности его регенерации. Целью данной работы является систематизация знаний в этой области, для дальнейшего целенаправленного их использования в практической деятельности.

Разрушение покрытия автомобильных дорог определяется такими факторами как: климатические условия, интенсивность движения транспорта, нагрузки, создаваемые им, а также от качества строительства и последующего обслуживания дороги. Под воздействием атмосферных факторов – температуры, света, воздуха и воды происходят изменения физических свойств и химического битума, являющегося связующим асфальтобетонного покрытия [1]. Такие изменения известны как процесс старения битума, то есть его окисление за счет присоединения кислорода воздуха и полимеризации. В ходе процесса изменяются свойства битума: увеличивается вязкость, повышается температура размягчения и уменьшается растяжимость.

Изменение физических свойств асфальтобетона в процессе эксплуатации покрытия связано с изменением химического состава и структуры битума, являющегося связующим элементом между компонентами материала. По своему строению битум представляет коллоидную систему, в которой диспергированы асфальтены, а дисперсионной средой являются смолы и масла. Асфальтены битума – это частицы размером 18-20 мкм, которые являются ядрами, окруженными оболочками убывающей плотности от тяжелых смол до масел. Свойства битума как дисперсной системы определяются соотношением входящих в

него составных частей. Повышение содержания асфальтенов и смол влечет за собой возрастание твердости, температуры размягчения и хрупкости битума. Наоборот, масла, частично растворяющие смолы, делают битум мягким и легкоплавким. Снижение молекулярной массы масел и смол также повышает пластичность битума [2].

В ходе эксплуатации дорожного покрытия составные части битума, переходят частично из одних видов в другие: масла переходят в смолы, смолы в асфальтены. Таким образом, с течением времени в битуме происходит увеличение количества асфальтенов, а количество смол, придающих битуму пластичность, со временем уменьшается. По мере накопления асфальтенов постепенно теряются пластические свойства битума, и увеличивается его хрупкость. Материал теряет способность воспринимать растягивающие напряжения, что приводит к выкрашиванию дорожного полотна и образованию трещин.

Рассматривая изменение свойств битума во времени, можно отметить два основных периода. До определенного времени процессы старения битума могут быть охарактеризованы лишь как процессы упрочнения структуры асфальтобетона, сопровождающиеся улучшением сцепления битума с поверхностью минеральных зерен. Вследствие этого повышается водоустойчивость и морозоустойчивость материала. Увеличение вязкости битума в этот период приводит к оптимальному повышению прочности и деформационной устойчивости асфальтового бетона. Однако с течением времени наступает период старения битума, сопровождающийся повышением его хрупкости, уменьшением сцепления с минеральными частицами, приводящее к снижению коррозионной устойчивости и появлению трещин [3].

Процесс старения характерен для многих высокомолекулярных соединений, включая разнообразные виды полимеров. При этом независимо от рассматриваемого материала старение происходит по единому механизму и сопровождается общими для всех органических веществ изменениями. Воздействие на материал различных факторов – тепла, света, проникающей радиации, кислорода, влаги, агрессивных химических агентов, механических нагрузок вызывают в них развитие необратимых химических реакций двух типов: деструкции, когда происходит разрыв химических связей в основной цепи макромолекул с образованием свободных радикалов, и структурирования, когда происходит сшивание цепей при взаимодействии образовавшихся радикалов. Изменение молекулярной структуры вещества приводит к характерным для процесса старения изменениям свойств материала [4].

Деструкция макромолекул органических веществ возможна также в результате механического воздействия, когда механическое напряжение, приложенное к материалу, становится больше энергии химической связи в главной цепи. В этом случае происходит химический разрыв макромолекулы под влиянием механического воздействия, носящий название эффекта механодеструкции. Очевидно, этот эффект будет проходить до тех пор, пока суммарная энергия физических межмолекулярных взаимодействий звеньев цепи макромолекулы не станет равной энергии химической связи в цепи. Тогда механическое напряжение будет приводить к смещению молекул относительно друг друга без нарушения их химической структуры.

Таким образом, механодеструкция приводит к снижению молекулярной массы полимера до некоторой величины. Иными словами, механические воздействия будут способствовать еще и выравниванию размеров молекул до некоторой величины молекулярной массы. При определенном значении механической нагрузки длинные молекулы полимера разрываются, в то время как молекулы меньших размеров не подвергаются механодеструкции и участвуют только в простом механическом перемещении. Возникающие в механическом поле свободные полимерные радикалы могут не только рекомбинировать, но и реагировать с макромолекулами полимера. Это приводит к получению разветвленных или сшитых продуктов [5].

Известно, что эффект механодеструкции сильно зависит от температуры. При низких температурах обработки полимера механическим силам труднее преодолевать силы

взаимодействия между макромолекулами и проскальзывание молекул друг относительно друга в поле механических напряжений почти не имеет места, тогда как при повышении температуры этот эффект возрастает. Следовательно, механодеструкция имеет отрицательный температурный коэффициент, то есть число актов разрывов химических связей в главных цепях растет с понижением температуры.

Иными словами, механодеструкция в большей степени протекает у полимеров в стеклообразном состоянии, в меньшей – в высокоэластическом, и еще в меньшей – в вязкотекучем. Таким образом, в полимерах можно осуществить прямое превращение механической энергии в химическую энергию, так как образующиеся активные осколки макромолекул (радикалы) могут инициировать реакции полимеризации мономеров, реакции с активными участками других макромолекул, реакции с кислородом или другими низкомолекулярными примесями и добавками в полимерах. В ряде случаев могут образовываться разветвленные и сшитые структуры [5]. В соответствии со сказанным, старение может быть обратимым процессом, т.е. при создании определенных условий первоначальные свойства материала могут быть частично или полностью восстановлены.

Преимущественное протекание при старении цепных реакций деструкции или структурирования зависит от химического строения цепей, а также от большого количества внешних воздействий, возникающих при эксплуатации материала. Следует отметить, что рассмотренные процессы определяют старение материала дорожного покрытия, работающего в наиболее жестких условиях и подверженного воздействию множества внешних факторов.

Основной вывод, вытекающий из рассмотренного механизма старения применительно к асфальтобетонам, состоит в том, что «состарившийся» материал может быть регенерирован с частичным или полным восстановлением свойств «свежего» асфальтобетона. Причем процесс восстановления материала может сопровождаться возникновением новых химических связей при создании определенных условий.

Список литературы

1. *Никишин В.Е.* Технология регенерированного асфальта с дисперсным битумом: дис. канд. техн. наук. – Саратов, 2000. – 182 с.
2. *Зороторев В.А.* Об основах стандартизации дорожных битумов // Вестник ХГАДТУ. – 1995, № 1. С. 48-50.
3. *Печеный Б.Г.* Битумы и битумные композиции. М.: Химия, 1990. С. 7-8.
4. *Аюпов Д.А.* Модификация нефтяных битумов деструктатами сетчатых эластомеров: дис. канд. техн. наук. – Казань, 2011. – 152 с.
5. *Семчиков Ю.Д.* Высокомолекулярные соединения: учеб. для вузов / Юрий Денисович Семчиков. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 368 с.

05.13.12

¹В.С. Наумов, ¹Т.А. Наумова, ²И.В. Нестеров¹Московский государственный строительный университет, институт ИСА,
кафедра Строительная механика, Москва, naumov48@mail.ru²Московский государственный университет путей сообщений, факультет Мосты и тоннели,
кафедра САПР транспортных конструкций и сооружений, Москва, acad_miit@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ СБОРНЫХ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КЛИНОВИДНЫХ БЛОКОВ

В отечественной и зарубежной практике тоннелестроения широко применяются сборные обделки на базе универсальных клиновидных колец[1], позволяющие использовать только один типовой клиновидный блок на всех участках трассы тоннеля, которая может включать в себя не только прямолинейные, но и сложные участки, задаваемые пространственной кривой. Использование этого типа конструкций позволяет добиться высоких темпов строительства подземных транспортных линий, а так же повысить качество и точность проходки тоннеля. Статья посвящена вопросам совершенствования численных методов формирования пространственной геометрии этого типа конструкций и пространственной геометрии этого типа конструкций и программной реализации в среде графического редактора AutoCAD[2].

Ключевые слова: клиновидный блок, дискретный базис, проектная ось тоннеля, пространственная кривая.

В отечественной и зарубежной практике тоннелестроения широко применяются сборные обделки на базе универсальных клиновидных колец, позволяющие использовать только один типовой клиновидный блок на всех участках трассы тоннеля, которая может включать в себя не только прямолинейные, но и сложные участки, задаваемые пространственной кривой (рис. 1). Использование этого типа конструкций позволяет добиться высоких темпов строительства подземных транспортных линий, а так же повысить качество и точность проходки тоннеля.

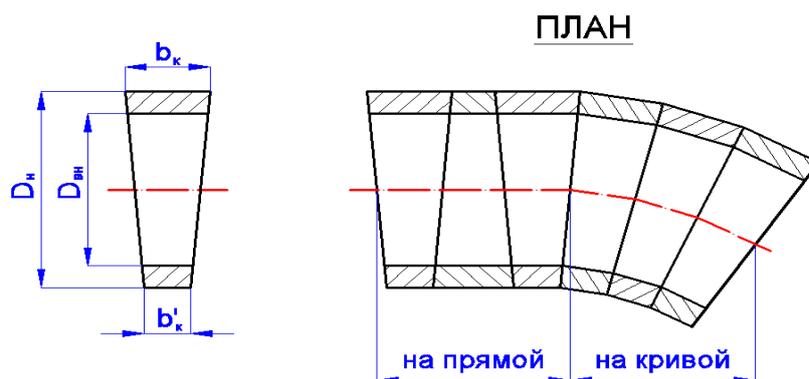


Рис. 1 Схема укладки колец обделки на прямом и криволинейном участке тоннеля с использованием универсальных клиновидных колец.

Конструкция универсальных клиновидных колец позволяет проходить тоннель и на прямом и на криволинейном участке тоннеля за счет поворота одного кольца относительно другого

Однако при использовании клиновидных элементов возникают определенные сложности. Они связаны с тем, что осуществить прокладку тоннеля по одной и той же трассе с

использованием одного набора колец можно различными вариантами. Отличие этих вариантов заключается в различном сочетании углов поворота для каждого элемента обделки и в доле отклонения от проектной оси тоннеля.

Формирование геометрии обделки на базе универсальных клиновидных блоков требует большого объёма вычислений, выполняемых в проектных организациях как правило, вручную или с применением локальной автоматизации, незначительно ускоряющей процесс проектирования. Современный уровень развития вычислительной техники и программного обеспечения позволяет выполнить полную автоматизацию процесса формообразования сборных тоннельных обделок на базе универсальных клиновидных блоков. Поэтому решение этой задачи значительно ускорит процесс проектирования тоннельных конструкций, а также повысит качество подготовки проектной документации.

Для прокладки любого тоннеля необходима исходная (проектная) ось, которая состоит как из прямых и круговых участков. Следует отметить, что трасса тоннеля может быть как плоской, так и пространственной, т.е. изменять направление как в плане, так и в профиле.

Как у любой дискретной модели при пространственном моделировании точность построений зависит от величины шага дискретизации.

При грубой дискретизации проектной оси тоннеля в ходе работы программы возникают значительные погрешности, что приводит к недопустимым отклонениям от проектной оси тоннеля.

Плотность дискретизации проектной оси тоннеля определяется приращением угла клиновидности при повороте клиновидного кольца на один болтовой шаг $\Delta j_{кл}$. Угловое отклонение хорды дискретного базиса b от касательной к проектной оси тоннеля $\Delta \gamma$ (рис.2) в месте стыковки клиновидного кольца не должно превышать приращения угла клиновидности $\Delta j_{кл}$, поэтому определяющим соотношением для получения дискретного базиса b будет неравенство:

$$\Delta \gamma < \Delta j_{кл} \tag{1}$$

Вычислим величину дискретного базиса через угловое отклонение $\Delta \gamma$.

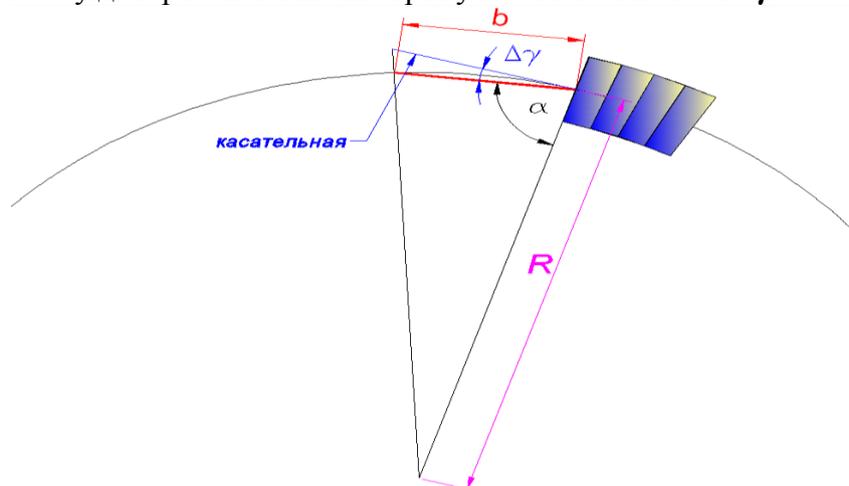


Рис. 2 Определение дискретного базиса для формирования кривой проектной оси тоннеля

$$\Delta \gamma = \pi / 2 - a, \tag{2}$$

$$R \cdot \cos a = b / 2, \quad \cos a = b / (2R) \tag{3}$$

$$a = \arccos \left(\frac{b}{2R} \right), \tag{4}$$

$$\Delta \gamma = \pi / 2 - \arccos \left(\frac{b}{2R} \right), \quad \arccos \left(\frac{b}{2R} \right) = \pi / 2 - \Delta \gamma \tag{5}$$

$$\left(\frac{b}{2R} \right) = \cos(\pi / 2 - \Delta \gamma), \quad \left(\frac{b}{2R} \right) = \sin(\Delta \gamma) \tag{6}$$

$$b = 2R \cdot \sin(\Delta \gamma), \tag{7}$$

с учётом неравенства (1) получим окончательное соотношение дискретного базиса дуги окружности:

$$b = 2R \cdot \sin(\Delta j_{кл}). \quad (8)$$

Число дискретных базисов на кривой 1-2 (рис. 9) будет определяться соотношением:

$$n = \left[\frac{l_{12}}{b} \right], \quad (9)$$

где l_{12} - длина криволинейного участка 1-2.

В случае пространственной кривой (рис. 3) формулу для вычисления длины участка l_{12} можно получить следующим образом.

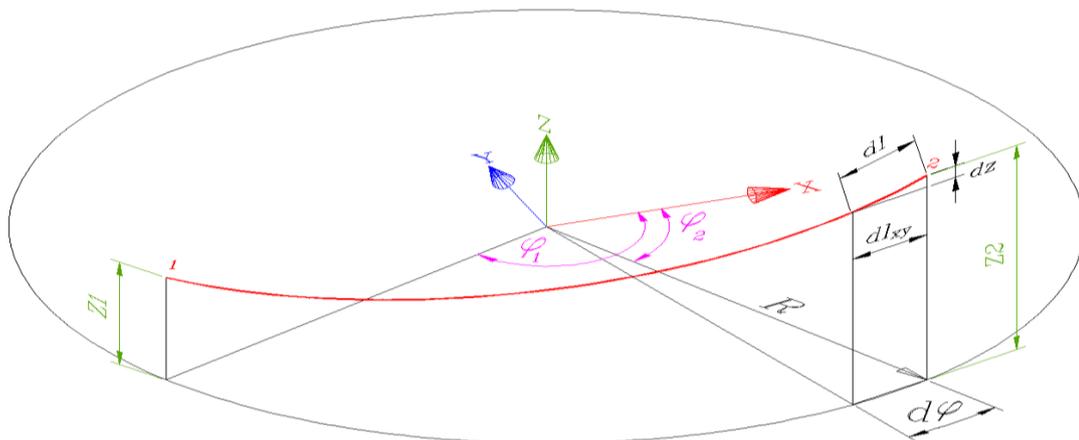


Рис. 3. Определение длины участка пространственной кривой

Длина элементарного участка кривой (рис. 9):

$$dl = \sqrt{dl_{xy}^2 + dz^2} \quad (10)$$

переменные под знаком радикала можно представить в следующем виде:

$$l_{xy} = R \cdot d\varphi, \quad dz = k \cdot d\varphi, \quad (11)$$

$$\text{где } k = \frac{z_2 - z_1}{\varphi_2 - \varphi_1}, \quad (12)$$

перепишем выражение (10) с учётом (11):

$$dl = \sqrt{R^2 d\varphi^2 + k^2 d\varphi^2} = \sqrt{d\varphi^2 (R^2 + k^2)} = d\varphi \sqrt{(R^2 + k^2)}. \quad (13)$$

длина участка кривой l_{12} (рис. 3) будет равна:

$$l_{12} = \sqrt{(R^2 + k^2)} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) \sqrt{(R^2 + k^2)} \quad (14)$$

перепишем формулу для определения числа дискретных базисов (9), с учётом соотношений (8, 13):

$$n = \left[(\varphi_2 - \varphi_1) \frac{\sqrt{R^2 + \left(\frac{Z_2 - Z_1}{\varphi_2 - \varphi_1} \right)^2}}{2R \sin(\Delta j_{кл})} \right], \quad (15)$$

Для численной реализации полученной математической модели на языке AutoLISP была написана специальная функция, которая выполняет автоматическую дискретизацию исходной трассы тоннеля на базисы, направление которой изменяется и в плане и в профиле.

В качестве исходных данных для пространственных кривых функция запрашивает центр кривой, радиус кривой, начальную и конечную точку оси.

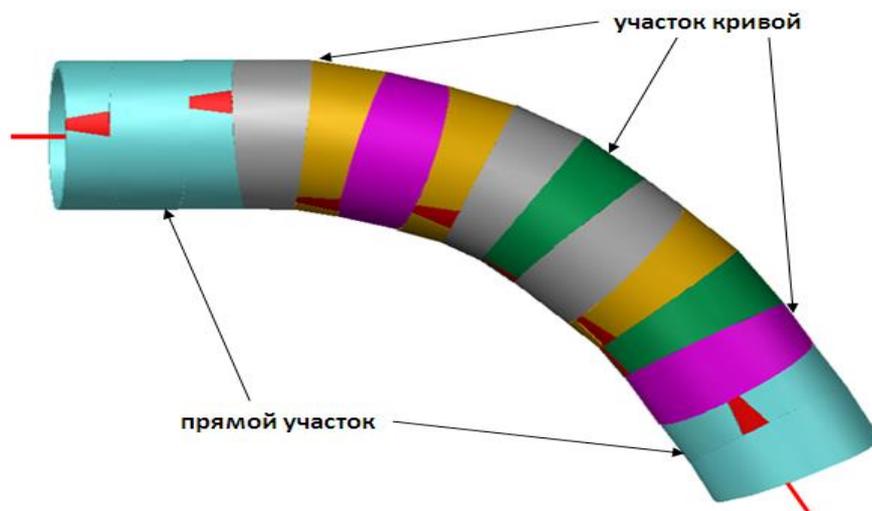


Рис. 4. Программная реализация алгоритма дискретизации.

На выходе программа автоматически генерирует пространственную полилинию, используемую впоследствии для формирования пространственной геометрии обделки (рис.4.)

Список литературы

1. *Маковский Л. В.* Проектирование автодорожных и городских тоннелей: Учеб. для вузов. - М.: Транспорт, 2006.
2. *Полещюк Н.Н.* AutoCAD 2004: разработка приложений и адаптация. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с.: ил.

05.22.10

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

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

В статье рассматривается проблема снабжения запасными частями при использовании транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче. Выявлены основные закономерности, формирующие расход запасных частей. Предложены модели этих закономерностей.

Ключевые слова: запасные части, транспортно-технологические машины, модели закономерностей.

Своевременное обеспечение запасными частями (ЗЧ) требуемой номенклатуры – необходимое условие эффективного функционирования технологического транспорта в нефтегазодобыче [1, 4, 5]. Для планирования расхода необходимо учитывать влияние большого числа факторов [2]. Многие из них значительно варьируют во времени, вызывая существенное изменение расхода ЗЧ. Известные методики планирования потребности в ЗЧ не в полной мере учитывают это влияние, что снижает точность расчетов [3, 6]. Для совершенствования методики расчета потребности в ЗЧ необходимо знать закономерности формирования потребности в них с учетом изменения во времени влияющих факторов.

Ранее авторами определена структура системы при моделировании расхода ЗЧ. В ней все элементы разделены на четыре уровня (рис.). Для создания на ее основе модели расходования ЗЧ необходимо установить закономерности взаимодействия элементов системы (табл.). Часть этих закономерностей (1 – 2.1; 1 – 2.2) установлена ранее [2], часть – очевидны (1 – 2.3; 3 – 4, 2.3 – 4). Для установления других необходимо провести специальные исследования.

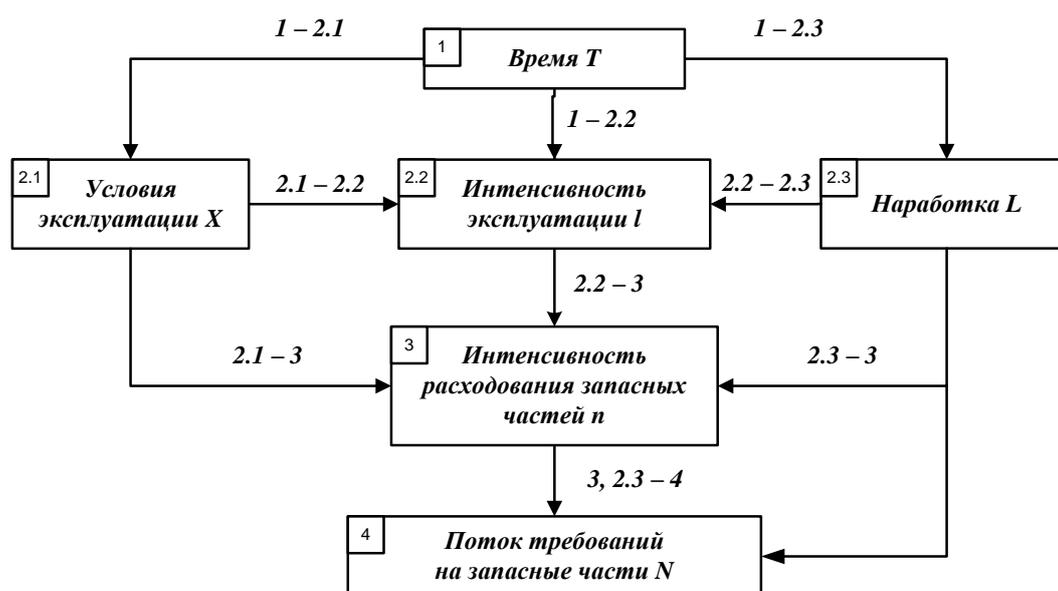
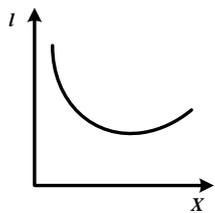
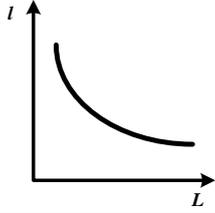
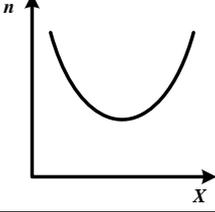
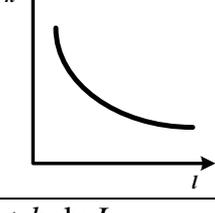
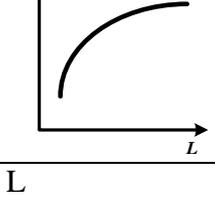


Рис. Структура изучаемой системы

Таблица

Закономерности формирования расхода запасных частей

Номер зависимости	Зависимая переменная	Независимая переменная	Модель
1 – 2.1	X – фактор условий эксплуатации	T - время	Гармоническая [3, 4, 5]
1 – 2.2	l – интенсивность эксплуатации	T - время	Гармоническая [8, 10, 18]
1 – 2.3	L – наработка	T - время	$\Delta L = l \cdot \Delta T$
2.1 – 2.2	l – интенсивность эксплуатации	X – фактор условий эксплуатации	$l = A_0 + A_1 \cdot X + A_2 \cdot X^2$ 
2.3 – 2.2	l – интенсивность эксплуатации	L – наработка	$l = a \cdot e^{b/L}$ 
2.1 – 3	n – интенсивность расходования запасных частей	X – фактор условий эксплуатации	$n = A_0 + A_1 \cdot X + A_2 \cdot X^2$ 
2.2 – 3	n – интенсивность расходования запасных частей	l – интенсивность эксплуатации	$n = a \cdot e^{b/l}$ 
2.3 – 3	n – интенсивность расходования запасных частей	L – наработка	$n = a + b \cdot \ln L$ 
3 – 4, 2.3 – 4	N – количество запасных частей	n – интенсивность расходования запасных частей; L – наработка	$N = n L$

В таблице приведены гипотезы о виде моделей для последних закономерностей. Их проверка требует проведения эксперимента.

На основе полученных результатов возможно создание модели изучаемой системы в целом, на которой можно получить решения о сроках, количестве и номенклатуре требуемых запасных частей.

Список литературы

1. *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.
2. *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.
3. *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. – № 12-2. – С. 186–191.
4. *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.
5. *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.
6. *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).

05.13.01

А.Н. Паршуков

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»,
филиал в г. Тюмени, кафедра общенаучных дисциплин, Тюмень, anparshukov@mail.ru

СИНТЕЗ МОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ПРИ НАЛИЧИИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ОПИСАНИЯ В ОБЪЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ

В настоящей статье разработана вычислительная технология исследования робастного качества управления в условиях структурно-параметрической неопределенности описания в объекте управления. Полученные в работе результаты позволяют реализовать процедуру проверки робастного качества управления на ЭВМ.

Ключевые слова: *робастность, модальный регулятор, структурно-параметрическая неопределенность.*

1. Актуальность

Классическая постановка задачи синтеза модального регулятора может быть сформулирована следующим образом. Линейный одномерный динамический объект управления P назначается дифференциальным уравнением n -го порядка, записанном в операторной форме

$$a(n, p) y(t) = b(m, p) u(t), \quad a_n = 1, n \geq m \quad (1)$$

здесь u – входной (управляющий) сигнал, y – выходной (управляемый) сигнал, t – непрерывное время; $a(n, p)$ и $b(m, p)$ дифференциальные операторы; здесь и далее под записью $f(l, p)$ понимается полиномиальный оператор степени l :

$$f(l, p) = f_0 + f_1 p + f_2 p^2 + \dots + f_i p^i + \dots + f_l p^l,$$

где f_0, f_1, \dots, f_l – коэффициенты, p^i – оператор дифференцирования по времени: $p^i \equiv d^i / dt^i$.

Качество управления назначается односвязной областью S , определяющей допустимое расположение полюсов передаточной функции (ПФ) на комплексной плоскости C . В технологии синтеза модального регулятора (описанной в работе [1]) регулятор R ищется в виде динамического звена l -го порядка:

$$\beta(l, p) u(t) = \alpha(l, p) y(t) + \chi(h, p) g(t), \quad h \leq l, \quad (2)$$

$g(t)$ – программный сигнал. В результате ПФ замкнутой системы имеет вид:

$$W_{з.с.}(s) = \frac{b(m, s) \cdot \chi(h, s)}{a(n, s) \cdot \beta(l, s) - b(m, s) \cdot \alpha(l, s)},$$

s – переменная преобразования Лапласа.

Известно, что для объекта управления, заданного дифференциальным уравнением n -го порядка любое наперед заданное расположение полюсов ПФ замкнутой системы возможно обеспечить динамическим регулятором R порядка $n - 1$ (и выше) [2]. При этом настройки регулятора находятся из условия:

$$R = \{ a^3(2n - 1, s) = a(n, s) \cdot \beta(n - 1, s) - b(m, s) \cdot \alpha(n - 1, s), \quad \Lambda(a^3) \subset \text{int } S \}$$

где эталонный полином $a^3(2n - 1, s)$ определяет расположение корней характеристического полинома замкнутой системы.

Подобная задача усложняется, если в описании объекта присутствует неопределенность. Будем выделять неопределенность объекта, связанную с неопределенностью коэффициентов дифференциального уравнения (1) (параметрическая неопределенность), и неопределенность, связанную с неточностью задания порядка дифференциального уравнения (структурная неопределенность). Проблема синтеза регулятора и последующего анализа качества управления в условиях как параметрической так и структурной неопределенностей описания в объекте P достаточно широко представлена в литературе: [3], [4] и др. В основу

значительной части работ на эту тему положены результаты работы Цыпкина Я.З. и Поляка Б.Т. [3], где был сформулирован общий критерий исследования робастной устойчивости и робастного качества управления (получивший название принципа исключения нуля). В настоящей работе на основе принципа исключения нуля разрабатывается вычислительная технология исследования качества управления в условиях структурно-параметрических неопределенностей в объекте.

2. Постановка задачи

Объект управления P задан в виде:

$$e''(\cdot, p) \cdot (a^0(n, p) + \Delta a(n-1, p)) y(t) = e'(\cdot, p) \cdot (b^0(m, p) + \Delta b(m, p)) u(t), \quad \alpha_n^0 = 1, \quad (3)$$

где $P^0 = \langle a^0(n, p) + \Delta a(n-1, p), b^0(m, p) + \Delta b(m, p) \rangle$ – операторы «основной динамики» объекта (подлежащие регулированию); здесь операторы $a^0(n, p)$ и $b^0(m, p)$ определены как и ранее, а $\Delta a(n-1, p)$ и $\Delta b(m, p)$ операторы, коэффициенты которых заданы интервалами:

$$\Delta a(n-1, p) = \{ \delta a_0 + \delta a_1 p + \delta a_2 p^2 + \dots + \delta a_i p^i + \dots + \delta a_{n-1} p^{n-1} \};$$

$$\delta a_i \in [-\Delta a_i^+; \Delta a_i^+], i \in \overline{0, n-1};$$

$$\Delta b(m, p) = \{ \delta b_0 + \delta b_1 p + \delta b_2 p^2 + \dots + \delta b_i p^i + \dots + \delta b_m p^m \};$$

$$\delta b_i \in [-\Delta b_i^+; \Delta b_i^+], i \in \overline{0, m};$$

$P^e = \langle e''(\cdot, p), e'(\cdot, p) \rangle$ – операторы «структурных возмущений», $\cdot \cdot \geq \cdot \cdot$.

Качество управления, как и ранее, назначается односвязной областью S ($S \subset \mathbb{C}$). Многообразие операторов структурных возмущений $\langle e'', e' \rangle$ задается следующим образом:

$$\left| \frac{e''(\cdot, s) - e'(\cdot, s)}{e''(\cdot, s)} \right| \leq \mu, \quad \forall s \in \partial S \quad (4)$$

за ∂S обозначена граница области S . При этом предполагаются выполненными следующие условия:

$$\Lambda(e'') \subset \text{int } S,$$

и

$$\Lambda(e') \subset \text{int } S.$$

Регулятор ищется в виде (2). Тогда ПФ замкнутой системы имеет вид:

$$W_{з.с.}(s) = [e'(\cdot, s) \cdot (b(m, s) + \Delta b(m, s)) \cdot \chi(h, s)] \cdot [e''(\cdot, s) \cdot (a^0(n+l, s) + \Delta a^0(n+l-1, s)) + (e''(\cdot, s) - e'(\cdot, s)) \cdot (b(m, s) + \Delta b(m, s))]^{-1},$$

где

$$a^0(n+l, s) = a^0(n, s) \cdot \beta(l, s) - b^0(m, s) \cdot \alpha(l, s), \Delta a^0(n+l-1, s) = \Delta a(n-1, s) \cdot \beta(l, s) - \Delta b(m, s) \cdot \alpha(l, s).$$

После деления знаменателя ПФ на e'' , характеристический полином замкнутой системы упрощается и принимает вид

$$a^{\Sigma}(n+l, s) = a^0(n+l, s) + \Delta a^0(n+l-1, s) + \Delta a^e(m+l, s), \quad (5)$$

где

$$\Delta a^e(m+l, s) = \left(\frac{e''(\cdot, s) - e'(\cdot, s)}{e''(\cdot, s)} \right) \cdot (b^0(m, s) + \Delta b(m, s)) \cdot \alpha(l, s).$$

Предполагается, что найден регулятор вида (2) такой, что обеспечивает для основной динамики объекта заданное качество управления; иными словами, выполняется:

$$\Lambda(a^0) \subset \text{int } S \quad \text{и} \quad \Lambda(a^0 + \Delta a^0) \subset \text{int } S. \quad (6)$$

Возникает вопрос: при каких уровнях μ структурных возмущений корни характеристического полинома (5) замкнутой системы гарантированно не выйдут из заданной области S . Иными словами, при каких μ гарантированно выполняется условие:

$$\Lambda(a^s) \subset \text{int } S. \tag{7}$$

Данная работа посвящена вычислительной технологии проверки условия (7). Основу данной технологии составляют следующие утверждения.

3. Основной результат

Применительно к данной задаче принцип исключения нуля может быть сформулирован следующим образом.

Утверждение 1. Пусть выполнено (6), тогда для того, чтобы выполнялось условие (7) необходимо и достаточно, чтобы выполнялось условие

$$\Delta a^0(n+l-1, s) / (a^3(n+l, s) + \Delta a^e(m+l, s)) = \emptyset, \tag{8}$$

для всех s принадлежащих ∂S .

Интервальная неопределенность коэффициентов операторов в основной динамике объекта P приводит к тому, что $\Delta a^0(n+l-1, s)$ для каждой точки $s \in \partial S$ представляет собой симметричный выпуклый многоугольник [1]. Технология построения этого многоугольника содержится в работе [5].

Область $a^3(n+l, s) + \Delta a^e(m+l, s)$ для каждой точки $s \in \partial S$ может быть покрыта кругом радиуса

$$r^+(s) = \mu \cdot b_+(s) \cdot |\alpha(l, s)|,$$

где

$$b_+(s) = \max_{\delta b_i \in [-\Delta b_i^+, \Delta b_i^+]} |b(m, s) + \Delta b(m, s)|$$

с центром в точке: $(\text{Re}(a^3(n+l, s)), \text{Im}(a^3(n+l, s)))$. Множество точек комплексной плоскости принадлежащих данному кругу будем обозначать $D_\mu(s)$. Проверка условия (8) сводится к геометрической задаче проверки пересечения 2-х фигур: многоугольника $\Delta a^0(n+l-1, s)$ и круга $D_\mu(s)$.

Утверждение 2. Для того, чтобы для (5) выполнялось условие (8) (при выполнении (6)) достаточно, чтобы выполнялось

$$r^*(s) \geq r^+(s), \quad \forall s \in \partial S$$

где $r^*(s)$ – такой радиус круга $D_\mu(s)$, при котором он впервые касается многоугольника $\Delta a^0(n+l-1, s)$; $r^+(s)$ - определен ранее.

Утверждение 3. В условиях (6) предельно допустимый уровень μ^* структурных возмущений (4) в объекте (3) при котором гарантированно не нарушается целевое условие (7) найдется из формулы:

$$\mu^* = \min_{s \in \partial S} \mu(s),$$

где

$$\mu(s) = \arg r^*(s), \quad (s \in \partial S).$$

4. Заключение

Последнее утверждение позволяет определить предельный уровень структурных возмущений в объекте, при которых выполняется предписанное качество управления (назначаемое целевым условием (7)). Приведенные утверждения являются основой вычислительной технологии исследования робастного качества управления в условиях структурно-параметрической неопределенности описания в объекте; процедуры проверки робастного качества управления могут быть реализованы на ЭВМ.

Список литературы

1. *Кузовков Н.Т.* Модальное управление и наблюдающие устройства. –М.: Машиностроение, 1976. - 184 с.
2. *Соловьёв И.Г.* Методы мажоризации в анализе и синтезе адаптивных систем. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992. –191 с.
3. *Поляк Б.Т., Цыпкин Я.З.* Частотные критерии робастной устойчивости и апериодичности линейных систем // Автоматика и телемеханика. – 1990. - № 9. – С. 45-55.
4. *Киселёв О.Н., Поляк Б.Т.* Критический коэффициент усиления // Автоматика и телемеханика. – 1995. - № 9. – С. 93 – 103.
5. *Паришуков А.Н.* Схема синтеза модального регулятора для объекта с интервальной неопределённостью коэффициентов // Деп. в ВИНТИ 09.07.2001, № 1616. – 8 с.

05.02.08

В.Ф. Пегашкин, И.И. Вендер, Е.В. Пегашкина

Нижнетагильский технологический институт (филиал)
Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
кафедра общего машиностроения, Нижний Тагил, pvf@ntiustu.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО ПРИПУСКА МЕЖДУ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВЫПОЛНЯЕМЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЯ

Представлено аналитическое решение задачи определения припусков при последовательной обработке детали на нескольких операциях обработки отверстия. Методика расчета предполагает получение величины стойкости инструментов на последовательных операциях, связанные между собой заранее определенным соотношением с учетом ограничивающих параметров. Приведен алгоритм последовательности расчетов.

Ключевые слова: механическая обработка, припуск, стойкость инструмента.

В условиях массового и крупносерийного производства обработка отверстий выполняется, как правило, за два прохода двумя различными инструментами. Наиболее часто применяют следующие варианты технологии.

Вариант 1: отверстие образуется в сплошном материале, производят сверление с последующим зенкерованием.

Вариант 2: в заготовке имеется отверстие, производят черновое и чистовое зенкерование.

Необходимо решить задачу о том, в какой пропорции разделить общий припуск между двумя переходами (или операциями) с условием обеспечения для каждого из двух переходов желательных или приемлемых величин основных параметров режима резания: стойкости инструментов T , скорости резания V , подачи S .

Для одного перехода можно выбрать глубину резания (т.е., иначе, диаметр обработанного отверстия) в соответствии с нормативами, принятыми в справочной литературе по режимам резания, и затем по этим нормативам задать величины других параметров режима резания. Однако для второго перехода глубина резания представится как оставшаяся часть припуска и не всегда можно получить желательные величины параметров.

Условимся, что всем величинам, относящимся к режиму резания на первом переходе, присваивается подстрочный индекс «1», на втором переходе – индекс «2» (например, T_1 и T_2 , S_1 и S_2). Стойкости T_1 и T_2 связаны между собой отношением k

$$T_1 = kT_2. \quad (1)$$

Если обработка отверстий производится на многопозиционных станках-автоматах, на автоматических линиях или на других поточных линиях с жёсткой транспортной связью между операциями, желательно останавливать оборудование на замену изношенных инструментов через такие периоды, чтобы можно было заменять оба инструмента одновременно. В этом случае k или $1/k$ должны быть целым числом. В частности при $k = 1$ получаем $T_1 = T_2$.

Из теории резания известны формулы для расчёта стойкости инструментов:

- при сверлении

$$T = \left(\frac{C_V K_V d^a}{VS^y} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (2)$$

- при зенкеровании

$$T = \left[\frac{C_V K_V D^a}{V S^y \left(\frac{D-d}{2} \right)^x} \right]^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$

где d – диаметр отверстия после предварительной обработки (первого перехода); D – диаметр отверстия после второго перехода; C_V, K_V, a, m, x, y – эмпирические коэффициенты из литературы по режимам резания.

Из формул (1), (2) и (3) получаем для первого варианта технологии (сверление с последующим зенкерованием)

$$\left(\frac{C_{V_1} K_{V_1} d^{a_1}}{V_1 S_1^{y_1}} \right)^{\frac{1}{m_1}} = k \left[\frac{C_{V_2} K_{V_2} D^{a_2}}{V_2 S_2^{y_2} \left(\frac{D-d}{2} \right)^{x_2}} \right]^{\frac{1}{m_2}}.$$

Отсюда следует

$$d = \left[C' (D-d)^{\frac{x_2}{m_2}} \right]^{\frac{m_1}{a_1}} \quad (4)$$

где

$$C' = \frac{k \left(C_{V_2} K_{V_2} D^{a_2} 2^{-x_2} \right)^{\frac{1}{m_2}} \left(V_1 S_1^{y_1} \right)^{\frac{1}{m_1}}}{\left(V_2 S_2^{y_2} \right)^{\frac{1}{m_2}} \left(C_{V_1} K_{V_1} \right)^{\frac{1}{m_1}}}.$$

Из формул (1) и (3) для второго варианта технологии (черновое и чистовое зенкерование) получаем

$$\left[\frac{C_{V_1} K_{V_1} d^{a_1}}{V_1 S_1^{y_1} \left(\frac{d-d_0}{2} \right)^{x_1}} \right]^{\frac{1}{m_1}} = k \left[\frac{C_{V_2} K_{V_2} D^{a_2}}{V_2 S_2^{y_2} \left(\frac{D-d}{2} \right)^{x_2}} \right]^{\frac{1}{m_2}},$$

где d_0 – диаметр отверстия в заготовке перед черновым зенкерованием.

$$d = \left[C'' (d-d_0)^{\frac{x_1}{m_1}} (D-d)^{\frac{x_2}{m_2}} \right] \quad (5)$$

где

$$C'' = \frac{k \left(C_{V_2} K_{V_2} D^{a_2} 2^{-x_2} \right)^{\frac{1}{m_2}} \left(V_1 S_1^{y_1} \right)^{\frac{1}{m_1}}}{\left(V_2 S_2^{y_2} \right)^{\frac{1}{m_2}} \left(C_{V_1} K_{V_1} 2^{x_1} \right)^{\frac{1}{m_1}}} \quad (6)$$

Для вычисления d необходимо:

1. вычислить C' или C'' ;
2. выбрать начальный уровень d_n , вычислить результат по уравнению (4) или (5) (наиболее вероятно, что в результате расчёта будет получено неравенство вместо равенства);
3. если левая часть больше правой, следует уменьшить d для последующего расчёта, если левая часть меньше правой – увеличить d , затем следует произвести повторный расчёт для изменённой величины d .
4. производить повторные расчёты в соответствии с п. 3 до тех пор, пока не будут получены достаточно близкие величины левой и правой частей уравнения (4) или (5) (точность вычисления d может быть установлена технологом в пределах 0,05...0,10 мм).

Определив d , находим T_1 по формулам (2) или (3), в зависимости от варианта технологии, а затем находим T_2 .

$$T_2 = \frac{T_1}{k}.$$

Полученная величина d должна быть проверена на соответствие требованиям по максимальному крутящему моменту на шпинделе станка, по мощности главного привода станка, по надёжности работы зажимного устройства.

Если указанные выше проверки дали неудовлетворительный результат, необходимо внести коррективы в расчётную величину d .

Для достижения необходимого результата по всем трём проверкам следует уменьшить крутящий момент $M_{кр}$. Этого можно достичь, уменьшив либо параметры режима резания (V , S), либо диаметр d . Поскольку уменьшение V или S ведёт к потере производительности на операции, предпочтительно несколько уменьшить d . При этом увеличится стойкость T_2 , что требует корректировочного расчёта.

Будем присваивать корректируемым параметрам индекс «к». Например, откорректированная величина d получает обозначение d_k .

Новые значения стойкости следует определять по следующим формулам.

Вариант технологии 1:

$$T_{1к} = T_1 \left(\frac{d_k}{d} \right)^{a_1},$$

$$T_{2к} = T_2 \left(\frac{D-d}{D-d_k} \right)^{x_2}.$$

Вариант технологии 2:

$$T_{1к} = T_1 \left(\frac{d-d_0}{d_k-d_0} \right)^{x_1},$$

$$T_{2к} = T_2 \left(\frac{D-d}{D-d_k} \right)^{x_2}.$$

Отношение стойкостей k изменится, получив значение k_k :

$$T_{1к} = k_k T_{2к},$$

$$k_k = \frac{T_{1к}}{T_{2к}}.$$

Если получены величины $T_{1к}$ и $T_{2к}$, требуется принять меры для дополнительного изменения одной из них с тем, чтобы восстановить значение k .

Дополнительно изменим величину $T_{2к}$, превратив её в $T_{2кк}$:

$$T_{2кк} = T_{2к} q,$$

где коэффициент q равен

$$q = \frac{k_k}{k}.$$

Очевидно, что изменить величину стойкости T_2 можно за счёт изменения или скорости V_2 , или подачи S_2 . Эти величины влияют на производительность труда в одинаковой степени, тогда как степень их влияния на стойкость различается в несколько раз, что видно в формулах (2) и (3).

Потребуется гораздо меньшее изменение V_2 , чем S_2 , чтобы получить требуемое изменение T_2 .

$$V_{2к} = \frac{V_2}{q^{m_2}}.$$

После этого расчёт считаем законченным.

05.04.03

А.Г. Поздеев, И.М. Шарафутдинов, А.Ю. Ржепкин

Поволжский государственный технологический университет,
 строительный факультет, кафедры строительных конструкций и водоснабжения,
 Йошкар-Ола, PozdeevAG@volgatech.net

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФЛЮИДИЗАЦИОННОГО СКОРОМОРОЗИЛЬНОГО АППАРАТА

Обоснована необходимость информационно-технологического обеспечения расчетов холодильных установок, что позволит осуществлять оперативное регулирование рабочих параметров оборудования в широком диапазоне. Приводится листинг MathCAD-программы расчета параметров технологического процесса заморозки различных продуктов в зависимости от вводимых характеристик холодильной установки. Определены параметры процессов, осуществляемых во флюидизационном скороморозильном аппарате при заморозке растительного сырья.

Ключевые слова: заморозка продуктов, заморозка растительного сырья, флюидизационный скороморозильный аппарат, информационно-технологическая модель, автоматизация расчетных методик.

Предприятия малого бизнеса агропромышленного профиля, как правило, имеют невысокий инновационный уровень, ориентированы на сбор сырья и выработку простейших полуфабрикатов и не имеют эффективных средств консервации растительного сырья. В этой связи возникает необходимость создания новых типов холодильного оборудования малой производительности и, в частности, скороморозильных флюидизационных аппаратов [1].

Проектирование эффективных холодильных установок адаптированных к условиям деятельности малых агропромышленных предприятий должно основываться на разработке средств автоматизированного расчета параметров холодильного оборудования.

Применение автоматизированных расчетов на всех этапах проектирования позволяет мобильно перестраивать производство холодильных установок в соответствии с динамично изменяющимися запросами рынка и предприятий малого бизнеса.

Для автоматизации расчетных методик [2, 3] предлагается использовать прикладную программную среду MathCad. В настоящей работе приведена информационно-технологическая модель расчета флюидизационного скороморозильного аппарата производительностью 100 кг/час для заморозки недревесных продуктов леса, грибов и ягод, в составе технологического процесса малого агропромышленного предприятия.

Характерный размер продукта, мм	$d_{np} := 0.009$
Плотность продукта, кг/м ³	$\rho_{np} := 1020$
Коэффициент теплопроводности продукта, Вт/(м·К)	$\lambda_{np} := 0.64$
Плотность замороженного продукта, кг/м ³	$\rho_{oz} := 970$
Теплоемкость продукта, кг/м ³	$C := 3560$
Теплоемкость замороженного продукта, кг/м ³	$C_z := 1680$
Рабочая температура воздуха в аппарате, °С	$t_{1k} := -28$
Барометрическое давление, Па	$B_a := 1.0308 \cdot 10^5$
Относительная влажность воздуха	$\phi_n := 0.9$
Начальная температура продукта, °С	$t_{npr} := 20$
Конечная температура продукта, °С	$t_{nprk} := -18$

Криоскопическая температура, °C	$t_k := 0.9$
Количество транспортеров	$N := 1$
Тепловой напор, °C	$\theta := 6$
Пористость продукта	$\varepsilon_o := 0.45$
Производительность аппарата, кг/час	$G := 100$
Начальное влагосодержание продукта, кг/кг	$w_{nprn} := 0.758$
Доля массы продукта на корку льда	$n_l := 0.4$
Коэффициент формы продукта – для шара	$a_f := 0.333$
Энтальпия при криоскопической температуре, Дж/кг	$i_{kp} := 318440$
Энтальпия продукта при конечной температуре, Дж/кг	$i_{nprk} := 46000$
Энтальпия продукта при начальной температуре, Дж/кг	$i_{nprn} := 395955$
Ширина транспортера, м	$b_{mp} := 0.95$
Длина транспортера, м	$l_{mp} := 4.4$
Коэффициент аэропрозрачности	$k_{am} := 0.45$
Коэффициент аэродинамического сопротивления	$k_{mp} := 50$
Число контуров на транспортере	$n_b := 4$
Коэффициент теплопроводности сухого воздуха, Вт/(м·К)	
$\lambda_{1c} := 0.0204 \cdot [1 + 0.0008 \cdot (t_{1k} + 50)]$	$\lambda_{1c} = 0.021$
Давление паров в аппарате, Па	
$p_n := 133.1 \cdot 10^{\frac{10.4417 \cdot \frac{2670}{273.15+t_k}}{1}}$	$p_n := 47.27$
Плотность воздуха, кг/м ³	
$\rho_{1k} := B_a \cdot \frac{(1 - 0.379 \cdot \frac{p_n}{B_a})}{9.81 \cdot 29.27 \cdot (273.15 \cdot t_{1k})}$	$\rho_{1k} = 1.464$
Влагосодержание воздуха среднее, кг/кг	
$d_{cp} := 0.622 \cdot \phi_n \cdot \frac{p_n}{B_a - \phi_n \cdot p_n}$	$d_{cp} = 2.568 \times 10^{-4}$
Температура воздуха после транспортера, °C	
$t_{1kp} := t_{1k} + \frac{\theta}{2}$	$t_{1kp} = -25$
Температура воздуха перед транспортером, °C	
$t_{1n} := t_{1k} - \frac{\theta}{2}$	$t_{1n} = -31$
Давление паров перед транспортером, Па	
$p_{nb} := 133.3 \cdot 10^{\frac{10.4417 \cdot \frac{2670}{273.15+t_{1n}}}{1}}$	$p_{nb} = 34.698$
Влагосодержание воздуха перед транспортером, кг/кг	
$d_1 := 0.622 \cdot \phi_n \cdot \frac{p_{nb}}{B_a - \phi_n \cdot p_{nb}}$	$d_1 = 1.885 \times 10^{-4}$
Давление паров в конце транспортера, Па	
$p_{nk} := 133.3 \cdot 10^{\frac{10.4417 \cdot \frac{2670}{273.15+t_{1kp}}}{1}}$	$p_{nk} = 60.108$
Влагосодержание в конце транспортера, кг/кг	
$d_2 := 0.622 \cdot \phi_n \cdot \frac{p_{nk}}{B_a - \phi_n \cdot p_{nk}}$	$d_2 = 3.483 \times 10^{-4}$
Коэффициент влаговыделения	

$$k_b := 1 + 2835 \cdot \frac{(d_2 - d_1)}{t_{1kp} - t_{1n}} \quad k_b = 1.076$$

Относительная влажность воздуха на выходе из аппарата

$$\phi_{1k} := B_a \cdot \frac{d_2}{(0.622 + d_2) \cdot p_{nk}} \quad \phi_{1k} = 0.9$$

Теплопроводность воздуха на выходе из аппарата, Вт/(м·К)

$$\lambda_{1k} := \lambda_{1c} + 0.00465 \cdot \phi_{1k} \quad \lambda_{1k} = 0.025$$

Эквивалентный диаметр продукта, м

$$d_e := d_{np} \cdot \sqrt{1 - \varepsilon_o} \quad d_e = 6.675 \times 10^{-3}$$

Коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с

$$\eta_{1k} := 9.81 \cdot \frac{1.745 \cdot 10^{-6} + 5.03 \cdot 10^{-9} \cdot t_{1k}}{\rho_{1k}} \quad \eta_{1k} = 1.075 \times 10^{-5}$$

$$\alpha_{ap} := 9.81 \cdot d_e^3 \cdot \frac{(\rho_{np} - \rho_{1k})}{\eta_{1k}^2 \cdot \rho_{1k}} \quad \alpha_{ap} = 1.757 \times 10^7$$

$$C_{1k} := 1.006 + 1.8855 \cdot d_{cp} \quad C_{1k} := 1.006$$

Секундный объем замораживания продукта, м³/с

$$w_{np} := \frac{G}{\rho_{np}} \quad w_{np} = 0.098$$

$$o_x := 1 - \frac{t_k}{t_{npk}} \quad o_x = 1.05$$

$$Q_z := 335.2 \cdot 10^3 \cdot w_{np} \cdot o_x \cdot n_i \quad Q_z = 1.38 \times 10^4$$

$$Q_{np1} := G \cdot Q_z \quad Q_{np1} := 1.38 \times 10^6$$

$$Q_{np11} := \frac{Q_{np1}}{n_i} \quad Q_{np11} = 3.451 \times 10^6$$

Флюидизирующая скорость воздуха, м/с

$$o_m := \eta_{1k} \cdot \frac{\alpha_{ap}}{d_e \cdot (1400 + 5.22 \cdot \sqrt{\alpha_{ap}})} \quad o_m := 1.215$$

Теплота, отведенная от продукта, Дж/час

$$Q_{np} := G \cdot \frac{(i_{npn} - i_{kп})}{3600} + Q_{np1} \cdot n_i \quad Q_{np} = 5.542 \times 10^5$$

Скорость воздуха через транспортер, м/с

$$w_1 := \frac{Q_{np}}{k_{am} \cdot \rho_{1k} \cdot l_{mp} \cdot b_{mp} \cdot C_{1k} \cdot \theta \cdot n_b} \quad w_1 = 8.331 \times 10^3$$

Число Рейнольдса

$$Re_1 := w_1 \cdot \frac{d_e}{\eta_{1k}} \quad Re_1 = 5.174 \times 10^6$$

Тепловой напор, °С

$$\Delta t := \frac{\theta}{\ln \left[\frac{(t_k - t_{1k})}{t_k - t_{1kp}} \right]} \quad \Delta t = 54.745$$

Коэффициент теплоотдачи продукта, Вт/(м²·К)

$$\alpha_{np} := 0.622 \cdot \lambda_{1k} \cdot \sqrt{\frac{w_1}{d_e \cdot \eta_{1k}}} \quad \alpha_{np} = 5.287 \times 10^3$$

Площадь слоя продукта, м²

$$F_{np} := \frac{Q_{np}}{\alpha_{np} \cdot \Delta t} \quad F_{np} = 1.915$$

$$G_{np} := F_{np} \cdot \rho_{np} \cdot d_e \quad G_{np} = 13.036$$

Высота слоя продукта на транспортере, м

$$h_{mp} := \frac{G_{np}}{\rho_{oz} \cdot \varepsilon_o \cdot l_{mp} \cdot b_{mp}} \quad h_{mp} = 7.145 \times 10^{-3}$$

Конечная температура продукта, °C

$$t_p := \frac{Q_{np}}{G_{np} \cdot C_{1k} \cdot 10^3} + t_{1k} \quad t_p = 14.243$$

$$\theta := 2 \cdot |t_p - t_{1k}| \quad \theta = 84.485$$

$$\varepsilon_{oc} := \frac{18 \cdot R_{e1} + 0.33 \cdot R_{e1}^2}{\alpha_{ap}^{0.21}} \quad \varepsilon_{oc} = 2.659 \times 10^{11}$$

Аэродинамическое сопротивление флюидизационного слоя, Па

$$\Delta p_f := 1.67 \cdot (R_{e1} \cdot \frac{h_{mp}}{d_e})^{0.2} \cdot \rho_{np} \cdot h_{mp} \quad \Delta p_f = 271.629$$

Площадь сечения на контуре транспортера, м²

$$F_{np} := l_{mp} \cdot \frac{b_{mp}}{n_b} \quad F_{np} = 1.045$$

Объемный расход воздуха, м³/с

$$L_1 := w_1 \cdot F_{np} \cdot k_{am} \quad L_1 = 3.918 \times 10^3$$

Коэффициент теплопроводности продукта, м²/с

$$a_{np} := \frac{\lambda_{np}}{C \cdot \rho_{np}} \quad a_{np} = 1.763 \times 10^{-7}$$

$$w := 2.25 + 1.95 \cdot \ln(3140 \cdot d_{np}^3 \cdot \frac{\rho_{np}}{6}) \quad w = 0.41$$

Коэффициент теплоотдачи продукта, Вт/(м²/K)

$$\alpha_{np} := 0.62 \cdot \lambda_{1k} \cdot \sqrt{\frac{w}{d_e \cdot \eta_{1k}}} \quad \alpha_{np} = 36.952$$

Время охлаждения продукта до криоскопической температуры, с

$$\tau_k := 0.223 \cdot \frac{d_{np}}{2 \cdot a_{np}} \cdot (\frac{d_{np}}{2} + 3.2 \cdot \frac{\lambda_{np}}{\alpha_{np} \cdot k_b}) \cdot \ln(\frac{t_{npn} - t_{1k}}{t_k - t_{1k}}) \quad \tau_k = 161.859$$

Коэффициент теплопроводности замороженного продукта, Вт/(м·K)

$$\lambda_{npz} := \lambda_{np} + 0.9 \cdot o_x \quad \lambda_{npz} = 1.585$$

Коэффициент теплопроводности продукта, м²/с

$$a_{npz} := \alpha_{np} + 8.73 \cdot o_x^{0.8} \quad a_{npz} = 46.029$$

Время замораживания продукта при криоскопической температуре, с

$$\tau_{ks} := a_f \cdot (i_{kp} - i_{npk}) \cdot \rho_{np} \cdot d_e \cdot \frac{(\frac{d_{np}}{4} + \frac{1}{a_{npz}})}{[2 \cdot (t_k - t_{1k})]} \quad \tau_{ks} = 247.324$$

Время замораживания продукта, с

$$\tau_k := \tau_k + \tau_{ks} \quad \tau_k = 409.183$$

Время образования корки льда, с

$$\tau_{z1} := a_f \cdot Q_z \cdot \rho_{oz} \cdot d_{np} \cdot \frac{(\frac{d_{np}}{4} + \frac{1}{a_{npz}})}{[2 \cdot (t_k - t_{1k})]} \quad \tau_{z1} = 16.067$$

Время охлаждения продукта до конечной температуры, с

$$\tau_{sk} := 0.11 \cdot C_z \cdot \frac{t_{npr} - t_{1k}}{(t_k - t_{1k})^{1.07}} + 0.207 \cdot 10^{-4} \cdot C_z \cdot \frac{t_k - t_{1k}}{(t_{npr} - t_{1k})^{4.65}} \quad \tau_{sk} = 242.54$$

Полное время замораживания продукта, с

$$\tau_{np} := \tau_k + \tau_{z1} + \tau_{ks} + \tau_{sk} \quad \tau_{np} = 915.114$$

Скорость транспортера, м/мин

$$w_{mp} := 60 \cdot \frac{l_{mp}}{\tau_{np}} \quad w_{mp} = 0.288$$

Теплота, отводимая от продукта, Дж

$$Q_{np} = 5.542 \times 10^5$$

Мощность воздухоохладителя, Вт

$$W_{eo} := \frac{Q_{np}}{\tau_{np}} \quad W_{eo} = 605.659$$

Предложено решение проблемы сохранения и более полного использования растительного сырья путем применения современных методов переработки с использованием флюидизационного скороморозильного аппарата, обладающим щадящими режимами получения качественной продукции.

В результате расчета в прикладной среде MathCad установлены технические параметры флюидизационного скороморозильного аппарата для заморозки недревесных продуктов леса в составе технологического процесса малого агропромышленного предприятия.

Предложенная автоматизированная методика расчета скороморозильной установки позволяет определить параметры технологического процесса заморозки различных продуктов в зависимости от вводимых характеристик оборудования.

Список литературы

1. *Алибеков, С.Я.* Динамические теплообменники скороморозильных аппаратов агроинженерных комплексов/ С.Я. Алибеков, А.Г. Поздеев, Е.М. Царев// Вестник МарГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2008. – № 2(3). – С. 86-90.
2. *Арманд, А.А.* Расчет переходных процессов в теплообменниках/ А.А. Арманд//Теплообмен при высоких температурах и других специальных условиях. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – С. 150-156.
3. *Галицейский, Б.М.* Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках/ Б.М. Галицейский, Ю.А. Рыжов, Е.В. Якут. – М.: Машиностроение, 1977. – 256 с.

05.04.03

А.Г. Поздеев, И.М. Шарафутдинов, А.Ю. Ржепкин

Поволжский государственный технологический университет,
 строительный факультет, кафедры строительных конструкций и водоснабжения,
 Йошкар-Ола, PozdeevAG@volgatech.net

РАСЧЕТ РЕБРИСТО-ТРУБНОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ В ПРИКЛАДНОЙ СРЕДЕ MATHCAD

Представлены результаты в области разработки информационно-технологического обеспечения расчетов теплообменных аппаратов. В прикладной программной среде MathCAD составлена программа расчета параметров ребристо-трубного воздухоохладителя в составе мобильной малогабаритной скороморозильной установки. Использование представленных автоматизированных методик при расчете технологического оборудования агропромышленных комплексов позволяет оперативно определять параметры рабочих процессов и подбирать требуемые для исходного сырья. Представлены результаты расчета параметров охлаждаемого воздуха в зависимости от вводимых характеристик воздухоохладителя с учетом расчетных характеристик хладагента.

Ключевые слова: холодильное оборудование, ребристо-трубный воздухоохладитель, теплообменник, автоматизированная методика расчета.

Для развития фермерских хозяйств, малых предприятий в агропромышленном комплексе требуется создание новых типов технологического оборудования малой производительности обладающего мобильностью регулирования рабочих параметров в широком диапазоне [1].

Необходимость оперативного определения параметров рабочих процессов при выборе и расчете технологического оборудования используемого малыми предприятиями агропромышленного профиля требует разработки и широкого внедрения информационно-технологического обеспечения.

Одним из направлений развития малого бизнеса в агропромышленном комплексе является производство по переработке и хранению дикоросов (дикорастущих лесных ягод, грибов и трав) для обеспечения населения в любое время года биологически активными природными веществами. Данный технологический процесс базируется на использовании эффективных средств консервации витаминизированных продуктов леса. Для заморозки дикорастущих грибов и ягод применяются флюидизационные скороморозильные аппараты небольшой производительности. Этот класс скороморозильных аппаратов обеспечивает высокую скорость замораживания, минимальную усушку и сохраняет высокое качество продуктов [2].

Все основные расчеты оборудования малогабаритных скороморозильных установок [3, 4] могут быть автоматизированы на базе прикладной программной среды MathCad. Это, в частности, относится и к приведенной в настоящей работе информационно-технологической модели ребристо-трубного воздухоохладителя для обеспечения холодоснабжения скороморозильного флюидизационного аппарата.

Исходные данные для расчета:

Номинальная холодопроизводительность, Вт	$Q := 605.659$
Холодильный агент – аммиак	
Рабочая температура аммиака, °С	$t_o := -40$
Исходная температура воздуха, °С	$t_{1n} := 20$
Конечная температура воздуха, °С	$t_{1k} := -35$
Вид теплообмена – от охлаждаемого воздуха к хладагенту с перекрестным током	

Барометрическое давление, Па	$B_a := 1.013 \cdot 10^5$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g := 9.81$
Газовая постоянная сухого воздуха, м/К	$R_{ic} := 29.27$
Расчетная теплоемкость сухого воздуха, Дж/кг	$C_{p1} := 1.009 \cdot 10^3$
Массовое расходное паросодержание аммиака на входе в теплообменник	$X_1 := 0.2$
Кратность циркуляции аммиака	$k_c := 5$
Удельная теплота парообразования аммиака при заданной температуре, Дж/кг	$r_o := 1.3915 \cdot 10^6$
Коэффициент теплопроводности материала трубы, Вт/(м · К)	$\lambda_m := 45.4$
Коэффициент теплопроводности материала ребра, Вт/(м · К)	$\lambda_p := 45.4$
Шаг труб по фронту, м	$S_1 := 0.06$
Шаг труб по потоку воздуха, м	$S_2 := 0.06$
Наружный диаметр труб, м	$d_n := 0.022$
Внутренний диаметр труб, м	$d_b := 0.018$
Число труб по фронту	$n_f := 4$
Толщина ребра, м	$\delta_p := 0.001$
Высота пластины по фронту, м	$H_n := 0.117$
Ширина пластины по потоку, м	$b_n := 0.017$
Число труб, охватываемых пластиной	$n_1 := 4$
Расход воздуха, м ³ /с	$L_1 := 5$
Расчет параметров хладагента:	
Массовое расходное паросодержание на выходе из аппарата	
$X_2 := X_1 + \frac{1}{k_c}$	
Безразмерная температура	
$\tau := \frac{273.15 + t_o}{405.55}$	$\tau = 0.575$
Параметр	
$\theta := \ln(\tau) + 0.5 \cdot \left(\frac{\tau - 1}{\tau}\right) \cdot \left(\frac{\tau - 1}{\tau} - \ln(\tau)\right)^2 \cdot \frac{1 - 0.1 \cdot (\tau - 1)^4}{\tau^4}$	$\theta := -0.67$
Вязкость жидкой фазы (на линии насыщения), Па·с	
$\eta_o := 27.9 \cdot 10^{-6} \cdot e^{(-1.32\theta - 1.75\theta)^{\frac{1}{3}}}$	$\eta_o = 9.953 \times 10^{-5}$
Теплопроводность жидкой фазы, Вт/(м · К)	
$\lambda_o := 13.78 \cdot 10^{-2} \cdot e^{(0.322\theta - 1.93\theta)^{\frac{1}{3}}}$	$\lambda_o = 0.384$
Вязкость паров (на линии насыщения), Па·с	
$\eta_{op} := 27.9 \cdot 10^{-6} \cdot e^{(-0.44\theta - 1.75\theta)^{\frac{1}{3}}}$	$\eta_{op} = 8.692 \times 10^{-5}$
Теплопроводность паров, Вт/(м · К)	
$\lambda_{op} := 13.78 \cdot 10^{-2} \cdot e^{(0.79\theta - 1.93\theta)^{\frac{1}{3}}}$	$\lambda_{op} = 0.344$
Параметр	
$S := (\tau - 1) \cdot [0.2 \cdot (\tau + 1)^2 + 0.5]$	$S = -0.423$

Плотность аммиака, кг/м³

$$\rho_o := \left[0.2291 \cdot e^{\left[1.6839(1-\tau)^{\frac{1}{3}} + 0.3859S \right]} \right] \cdot 10^3 \quad \rho_o = 690.14$$

Плотность паров, кг/м³

$$\rho_{op} := \rho_o - \rho_o \cdot \left[1 - e^{-100(1-\tau)} \right] \cdot e^{-3.8(\tau-0.4)^5} \quad \rho_{op} = 0.429$$

Коэффициент поверхностного натяжения, Н/м

$$\sigma_o := 132 \cdot 10^{-3} \cdot (1-\tau)^{1.32} \quad \sigma_o = 0.043$$

Коэффициент кинематической вязкости аммиака, м²/с

$$\nu_o := \frac{\eta_o}{\rho_o} \quad \nu_o := 1.442 \times 10^{-7}$$

Коэффициент кинематической вязкости паров аммиака, м²/с

$$\nu_{op} := \frac{\eta_{op}}{\rho_{op}} \quad \nu_{op} = 2.026 \times 10^{-4}$$

Параметр

$$\psi := 4 \cdot \frac{\tau-1}{\tau} + S - 5.3 \cdot \ln(\tau) \quad \psi = -0.447$$

Давление насыщенных паров, Па

$$p_o := 113.93 \cdot 10^5 \cdot e^{[7.0284 \ln(\tau) + (7.0284 - 4 - 0.3958)\psi]} \quad p_o = 7.17 \times 10^4$$

Параметр температуры

$$\nu := 10 \cdot (1-\tau) \quad \nu = 4.251$$

Изобарная теплоемкость кипящей жидкости, Дж/(кг·К)

$$C_p := 4555.917 + 0.44816 \cdot 10^3 \cdot [\nu^{-1} \cdot e^{(1-\nu)}] \quad C_p = 4.56 \times 10^3$$

Коэффициент температуропроводности жидкой фазы, м²/с

$$a_o := \frac{\lambda_o}{C_p \cdot \rho_o} \quad a_o = 1.221 \times 10^{-7}$$

Число Прандля для жидкой фазы

$$Pr_o := \frac{\nu_o}{a_o} \quad Pr_o = 1.181$$

Коэффициент температуропроводности паровой фазы, м²/с

$$a_{op} := \frac{\lambda_{op}}{C_p \cdot \rho_{op}} \quad a_{op} = 1.757^{-4}$$

Число Прандля для паров

$$Pr_{op} := \frac{\nu_{op}}{a_{op}} \quad Pr_{op} = 1.153$$

Массовый расход двухфазной смеси, кг/с

$$G_{cm} := \frac{Q}{r_o \cdot (X_2 - X_1)} \quad G_{cm} = 2.176 \times 10^{-3}$$

Среднее расходное паросодержание в аппарате

$$X_{cp} := \frac{X_2 + X_1}{2} \quad X_{cp} = 0.3$$

Объемный расход аммиака, м³/с

$$V_o := \frac{(1 - X_{cp}) \cdot G_{cm}}{\rho_o} \quad V_o = 2.207 \times 10^{-6}$$

Объемный расход паров, м³/с

$$V_{op} := \frac{X_{cp} \cdot G_{cm}}{\rho_{op}} \quad V_{op} = 1.522 \times 10^{-3}$$

Скорость циркуляции смеси, м/с

$$w_s := \frac{4 \cdot (V_o + V_{op})}{\pi \cdot d_b^2 \cdot n_f} \quad w_s = 0.299$$

Число Фруда смеси

$$Fr_o := \frac{w_s^2}{g \cdot d_b} \quad Fr_o = 0.508$$

Число Галилея

$$Ga_o := \frac{g}{V_{op}^2} \cdot \left[\frac{\rho_o}{g \cdot (\rho_o - \rho_{op})} \right]^{1.5} \quad Ga_o = 1.38 \times 10^5$$

Коэффициент истинного объемного паросодержания

$$\phi := \frac{X_1}{X_1 + \frac{\rho_{op}}{\rho_o} \cdot (X_2 - X_1)} \cdot [1 - 2.55 \cdot (Fr_o - Ga_o)]^{-0.11} \cdot \left[\frac{\rho_{op} \cdot (X_2 - X_1)}{X_1 + \rho_{op} \cdot (X_2 - X_1)} \right]^{0.38} \quad \phi = 0.155$$

Условный диаметр, м

$$d_u := d_b \cdot (1 - \phi) \quad d_u = 0.015$$

Истинная скорость аммиака, м/с

$$w_o := \frac{4 \cdot G_{cm} \cdot (X_2 - X_1)}{d_b \cdot (1 - \phi) \cdot \rho_o} \quad w_o = 1.659 \times 10^{-4}$$

Число Рейнольдса аммиака

$$Re_o := \frac{w_o \cdot d_u}{\nu_o} \quad Re_o = 17.492$$

Число Нуссельта

$$Nu_o := 0.021 \cdot Re_o^{0.8} \cdot Pr_o^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_o}{Pr_{op}} \right)^{0.25} \quad Nu_o = 0.224$$

Коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции, Вт/(м · К)

$$\alpha_w := Nu_o \cdot \frac{\lambda_o}{d_b} \quad \alpha_w = 4.781$$

Скорость отвода паров, м/с

$$w_{op} := \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_b^2 \cdot r_o \cdot \rho_{op} \cdot (X_2 - X_1) \cdot n_f} \quad w_{op} = 0.997$$

Коэффициент теплоотдачи при кипении аммиака, Вт/(м · К)

$$\alpha_q := 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{op} \cdot \left(\frac{p_o \cdot w_{op} \cdot C_p}{g \cdot \rho_o} \right) \cdot \left[\frac{\rho_o}{g \cdot (\rho_o - \rho_{op})} \right]^{-0.5} \quad \alpha_q = 96.992$$

Среднерасходный коэффициент объемного паросодержания

$$\beta := \frac{1}{1 + \frac{X_2 - X_1}{X_1} \cdot \frac{\rho_{op}}{\rho_o}} \quad \beta = 0.999$$

Коэффициент внутренней теплоотдачи, Вт/(м · К)

$$\alpha_o := \sqrt{\alpha_w^2 + \alpha_q^2} \quad \alpha_o = 97.11$$

Параметры

$$v_{1i} := \frac{1 - X_1}{\rho_o} + \frac{X_1}{\rho_{op}} \quad v_{1i} = 0.467$$

$$v_{2i} := \frac{1 - X_2}{\rho_o} + \frac{X_2}{\rho_{op}} \quad v_{2i} = 0.933$$

Средняя скорость, кг/(м²·с)

$$v_{mi} := \frac{4 \cdot G_{cm}}{\pi \cdot d_b^2} \quad v_{mi} = 8.552$$

Потери давления при испарении, Па

$$\Delta p_{ni} := \left| \frac{v_{1i} - v_{2i}}{2} \right| \cdot v_{mi} \quad \Delta p_{ni} = 1.992$$

Коэффициент сопротивления трения

$$\lambda_f := \frac{0.3164}{Re_o^{0.25}} \quad \lambda_f = 0.155$$

Средняя плотность смеси, кг/м³

$$\rho_{cm} := \frac{1}{\frac{1 - X_2}{\rho_o} + \frac{X_2}{\rho_{op}}} \quad \rho_{cm} = 1.072$$

Длина трубы по фронту, м

$$L_{mf} := 2$$

Потери на трение, Па

$$\Delta p_m := \lambda_f \cdot \frac{v_{mi}^2}{2} \cdot \frac{L_{mf}}{d_b \cdot \rho_{cm}} \quad \Delta p_m = 586.628$$

Коэффициент местных сопротивлений, Па

$$\xi := 10$$

Потери на местные сопротивления, Па

$$\Delta p_j := \xi \cdot \frac{v_{mi}^2}{2 \cdot \rho_{cm}} \quad \Delta p_j = 341.257$$

Число рядов труб по ходу воздуха заданное

$$n_r := 5$$

Гидравлическое сопротивление движению хладагента, Па

$$\Delta p_o := (\Delta p_{ni} + \Delta p_m + \Delta p_j) \cdot n_r \quad \Delta p_o = 4.649 \times 10^3$$

Расчет параметров воздуха:

Средняя температура воздуха, °С

$$t_{1c} := \frac{t_{1n} + t_{1k}}{2} \quad t_{1c} = -7.5$$

Плотность воздуха, кг/м³

$$\rho_1 := 1.395$$

Теплоемкость воздуха, Дж/(м·К)

$$C_{p1} := 1.009 \times 10^3$$

Число Прандтля воздуха

$$Pr_i := 0.716$$

Теплопроводность воздуха, Вт/(м·К)

$$\lambda_i := 2.28 \cdot 10^{-2}$$

Кинематический коэффициент вязкости воздуха, м²/с

$$\nu_i := 1.279 \cdot 10^{-5}$$

Шаг ребер, м

$$S_p := 0.007$$

Погонная площадь ребер, м

$$F_p := \frac{2 \cdot (b_n \cdot H_n - 0.785 \cdot d_n^2)}{n_1 \cdot S_p} \quad F_p = 0.034$$

Толщина ребра, м

$$\delta_p := 0.0005$$

Площадь межреберной поверхности, м

$$F_i := \pi \cdot d_n \cdot \left(1 - \frac{\delta_p}{S_p}\right) \quad F_i = 0.064$$

Площадь оребренной поверхности на погонный метр, м

$$F_{pc} := F_p + F_i \quad F_{pc} = 0.098$$

Площадь внутренней поверхности труб на погонный метр, м

$$F_o := \pi \cdot d_b \quad F_o = 0.057$$

Характеристика ребер

$$\rho_p := 1.28 \cdot \frac{S_2}{d_n} \cdot \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} \quad \rho_p = 3.491$$

Условная высота ребра, м

$$h_u := 0.5 \cdot d_n \cdot (\rho_p - 1) \cdot (1 + 0.805 \cdot \log(\rho_p)) \quad h_u = 0.039$$

Коэффициент сужения канала воздуха

$$\psi := \frac{(S_1 - d_n) \cdot (S_p - \delta_p)}{S_1 \cdot S_p} \quad \psi = 0.588$$

Фронтальная площадь воздухоохладителя, м²

$$F_{fr} := L_{mf} \cdot [S_1 \cdot (n_f - 1) + d_n] \quad F_{fr} = 2.324$$

Площадь сжатого сечения, м²

$$f_{sc} := \frac{\psi \cdot F_{fr}}{n_f} \quad f_{sc} = 0.068$$

Скорость в сжатом сечении, м/с

$$w_i := \frac{L_1}{f_{sc} \cdot n_f} \quad w_i = 3.658$$

Число Рейнольдса для воздуха

$$Re_i := \frac{w_i \cdot S_p}{\nu_i} \quad Re_i = 2.002 \times 10^3$$

Число Прандтля

$$Pr_i := \frac{\nu_i \cdot \rho_i \cdot C_{p1}}{\lambda_i} \quad Pr_i = 0.79$$

Число Нуссельта

$$Nu_i := 0.096 \cdot Re_i^{0.72} \cdot \left(\frac{S_p}{d_n}\right)^{0.54} \cdot \left(\frac{S_p}{h_u}\right)^{0.14} \quad Nu_i = 9.678$$

Коэффициент теплоотдачи от воздуха ребру, Вт/(м · К)

$$\alpha_p := \frac{Nu_i \cdot \lambda_i}{S_p} \quad \alpha_p = 31.523$$

Коэффициент эффективности ребра

$$E := \frac{\tan_h\left(\frac{h_u}{\delta_p} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\delta_p \cdot \alpha_p}{\lambda_p}}\right)}{\frac{h_u}{\delta_p} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\delta_p \cdot \alpha_p}{\lambda_p}}} \quad E = 0.467$$

Приведенный коэффициент теплопередачи, Вт/(м · К)

$$\alpha_{pr} := \alpha_p \cdot E + \frac{F_p}{F_{pc}} + \alpha_p \cdot \frac{F_i}{F_{pc}}$$

Коэффициент теплопередачи, Вт/(м · К)

$$k_i := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \frac{d_b}{2 \cdot \lambda_m} \cdot \ln\left(\frac{d_n}{d_b}\right) + \frac{1}{\alpha_{pr}} \cdot \frac{F_o}{F_{pc}}} \quad k_i = 30.479$$

Поправка к температурному напору $\varepsilon \Delta t := 1$

Температурный напор от хладагента к воздуху на выходе в аппарат, °C

$$\Delta t_1 := t_{in} - t_o \quad \Delta t_1 = 60$$

Температура хладагента на выходе из аппарата, °C

$$t_{ok} := -39$$

Температурный напор от хладагента к воздуху на выходе из аппарата, °C

$$\Delta t_2 := t_{1k} - t_{ok} \quad \Delta t_2 = 4$$

Температурный напор, °C

$$\Delta t := \varepsilon \Delta t \cdot \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln\left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}\right)} \quad \Delta t = 20.679$$

Расчетный коэффициент теплопередачи ребер, Вт/(м · К)

$$k_{pc} := k_i \cdot \frac{F_o}{F_{pc}} \quad k_{pc} = 17.642$$

Площадь оребрения воздухоохладителя, м²

$$F_{pci} := \frac{Q}{k_{pc} \cdot \Delta t} \quad F_{pci} = 1.66$$

Длина воздухоохладителя по ходу воздуха

$$l := L_{mf} \cdot n_f \cdot n_r \quad l = 200$$

Число рядов по потоку воздуха расчетное

$$n_{rp} := \frac{F_{pc} \cdot l}{L_{mf} \cdot n_f \cdot F_{pc}} \quad n_{rp} = 5$$

В связи с совпадением заданного и расчетного числа рядов по ходу воздуха можно заключить, что ребристый воздухоохладитель с выбранными параметрами обеспечит требуемую холодопроизводительность флюидизационного скороморозильного аппарата.

Автоматизированная методика расчета в среде MathCad позволяет получить тепловые характеристики ребристого воздухоохладителя с прямоугольными ребрами в составе мобильного и малогабаритного скороморозильного технологического оборудования предприятия агропромышленного комплекса.

Предложенная программа расчета позволяет определить параметры охлаждаемого воздуха в зависимости от вводимых характеристик воздухоохладителя с учетом расчетных характеристик хладагента.

Список литературы

1. Алибеков, С.Я. Динамические теплообменники скороморозильных аппаратов агроинженерных комплексов/ С.Я. Алибеков, А.Г. Поздеев, Е.М. Царев// Вестник МарГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2008. – № 2(3). – с. 86-90.
2. Алмаши, Э.Н. Быстрое замораживание пищевых продуктов/ Э.Н. Алмаши, Л.П. Эрдели, Т.Г. Шарой. – М.: Агропромиздат, 1981. – 408 с.
3. Арманд, А.А. Расчет переходных процессов в теплообменниках/ А.А. Арманд// Теплообмен при высоких температурах и других специальных условиях. М.: Госэнергоиздат, 1959. – С. 150 - 156.
4. Галицейский, Б.М. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках/ Б.М. Галицейский, Ю.А. Рыжов, Е.В. Якут. М.: Машиностроение, 1977. – 256 с.

05.17.06

¹Е.А. Портнов, ²А.Н. Блазнов, ³В.Ф. Савин, ⁴О.В. Старцев

¹Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Бийск,

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, blaznov74@mail.ru

³ООО «Бийский завод стеклопластиков», г. Бийск,

⁴ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов», г. Геленджик

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ АРМИРОВАННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ВОЛОКНАМИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе приведены результаты усталостных испытаний стеклопластика строительного назначения и углепластика авиационного назначения с помощью метода продольного изгиба. Предложены аппроксимирующие выражения для определения усталостной прочности композитов в зависимости от количества циклов нагружений.

Ключевые слова: стеклопластики, углепластики, усталостная прочность, циклические испытания, продольный изгиб.

В связи с все более расширяющимся применением полимерных композиционных материалов (ПКМ), развиваются и методы их испытаний. Согласно работе [1], методы испытаний на растяжение, сжатие и изгиб, стандартизованные для пластмасс, малопригодны для испытаний армированных пластиков, являющихся анизотропными материалами. Разрушение происходит в зоне перехода от образца к металлическому захвату, и полученные результаты отличаются от 20 % до двух раз. При использовании метода испытаний на статический изгиб показана [1,2] зависимость модуля упругости и прочности от длины нагружаемой базы образца, и предложено [1] увеличивать отношение длины к толщине до 40 для снижения действия сдвиговых напряжений на результат. Для длительных и усталостных испытаний используют те же методы и устройства, что и для статических, при этом погрешности измерений свойств ПКМ многократно возрастают.

Авторами предложено для статических испытаний стеклопластиков использовать метод продольного изгиба [2], основным достоинством которого является отсутствие контакта нажимного металлического наконечника в зоне разрушения образца, в результате чего повышается точность измерения модуля Юнга и прочности при статических испытаниях.

В настоящей работе использована установка (рис. 1), основанная на циклическом продольном изгибе композитных образцов [3].

Сущность метода испытаний заключается в периодически изменяющемся по заданному закону сближении концов шарнирно опертого гибкого образца, измерении усилия сопротивления образца продольному изгибу и расчете напряжений в образце, в регистрации момента, показывающего начало разрушения образца, и измерении количества циклов, прошедших с момента начала испытаний до начала разрушения.

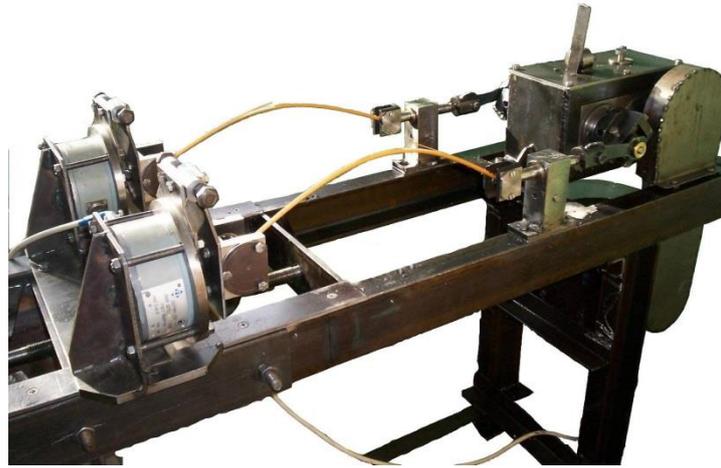


Рис. 1 – Установка для циклических испытаний на продольный изгиб

Возникающие в образце напряжения могут быть рассчитаны по известным формулам сопротивления материалов, если заданы значения стрелы прогиба образца и радиуса кривизны его в вершине изогнутой линии. Выражения для расчета наибольших напряжений σ и деформаций ε , возникающих, например, в упругом образце круглого сечения при заданных значениях сближения его концов Δ , имеют вид [2, 4]:

$$\sigma \approx \pm \frac{32 \cdot P}{\pi^2 \cdot d^3} \cdot L \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{(\delta + 0,252 \cdot \delta^2 + 0,077 \cdot \delta^3 + 0,079 \cdot \delta^4)}{(0,125 - 0,0152 \cdot \delta - 0,0083 \cdot \delta^2)}}; \quad (1)$$

$$\varepsilon \approx \pm \frac{d}{2} \cdot \frac{\pi}{L} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{(\delta + 0,252 \cdot \delta^2 + 0,077 \cdot \delta^3 + 0,079 \cdot \delta^4)}{(0,125 - 0,0152 \cdot \delta - 0,0083 \cdot \delta^2)}}, \quad (2)$$

где P – усилие, приложенное к концам продольно изогнутого образца;

L – длина образца; d – диаметр образца; $\delta = \Delta/L$.

Типичная диаграмма изменения нагрузки от количества циклов нагружения в полулогарифмических координатах показана на рис. 2. За начало разрушения для простоты обработки принято значение P , равное $0,975 \cdot P_{нач}$.

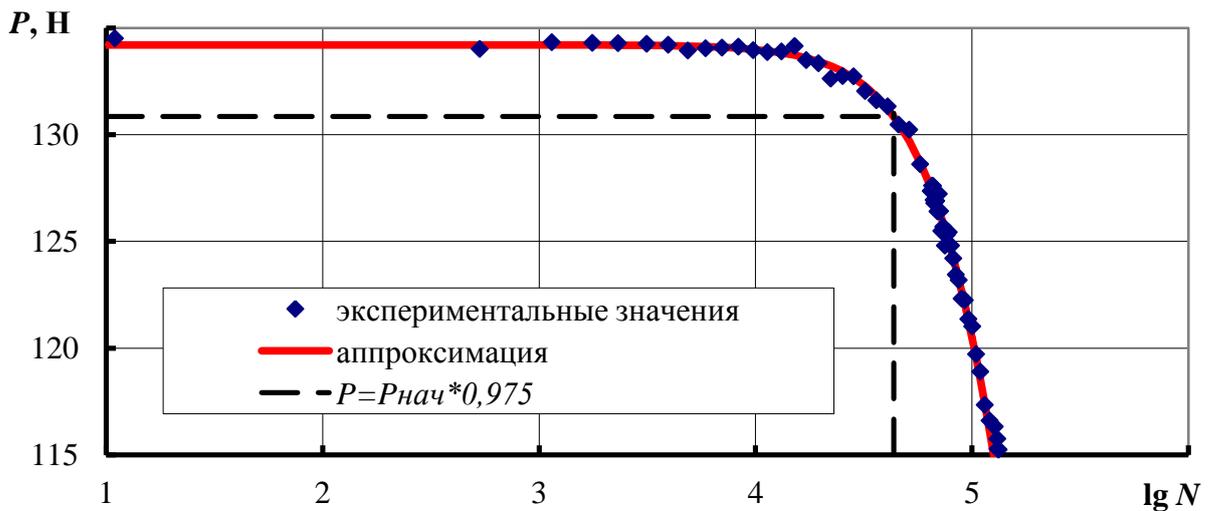


Рис. 2 – Зависимость сопротивления образца продольному изгибу от количества циклов колебания напряжений

Методом продольного изгиба на установке (см. рис. 1) было испытано две группы образцов – стеклопластиковые стержни строительного назначения и углепластиковые пластины авиационного назначения. Стеклопластиковые стержни диаметром 5,5 мм длиной 400 мм на основе ровинга из волокон алюмоборосиликатного стекла марки Е и эпоксидной матрицы ЭДИ, имели в исходном состоянии среднее значение временной прочности 1801 МПа, модуля упругости – 58 ГПа. Пластины авиационного назначения КМКУ-3.150.Э0.1.45 размерами 1×8×177 мм, были изготовлены из однонаправленного углепластика и имели среднее значение временной прочности - 1009 МПа, модуля упругости – 133 ГПа.

В таблице приведены параметры нагружения и первичные результаты испытаний углепластиков.

Таблица – Результаты циклических испытаний авиационных углепластиков на продольный изгиб

№ образца	σ_{\min} , МПа	σ_{\max} , МПа	E , ГПа	N , циклов
1	683	973	141,3	более 693003
2	224	851	121,0	91717
3	640	912	135,9	693003
4	254	982	143,5	26182
5	234	839	126,7	18931
6	219	787	118,8	133395
7	223	801	120,9	1158
8	233	835	129,4	4244
9	254	937	130,3	более 119150
10	254	965	130,1	более 117996
11	254	992	129,2	315812
12	223	913	111,9	7
13	227	878	125,9	более 102524
14	230	834	125,1	более 8961978
15	230	863	124,4	более 1215240
16	230	890	120,5	более 591601
17	230	916	122,4	более 118124
18	230	942	119,0	более 114068
19	230	972	121,3	34917
20	230	838	123,8	8961978

Результаты испытаний привели к безразмерному виду с помощью функции

$$\gamma_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{\sigma_{\max}^2 - \sigma_{\min}^2}{\sigma_{0\tau}^2}}, \quad (3)$$

где σ_{\max} и σ_{\min} – максимальное и минимальное значение напряжения в знакопостоянном цикле нагружения образца; $\sigma_{0\tau}$ – предел длительной прочности образца (значение не изменяющегося во времени напряжения, при котором долговечность образца стремится к бесконечности). Значение $\sigma_{0\tau}$ для исследуемых материалов составило: 1027 МПа для стеклопластиков, 908 МПа для углепластиков.

Результаты испытаний в виде зависимости приведенного напряжения $\gamma_{\text{ц}}$ от логарифма количества циклов изменения напряжений показаны на рис. 3.

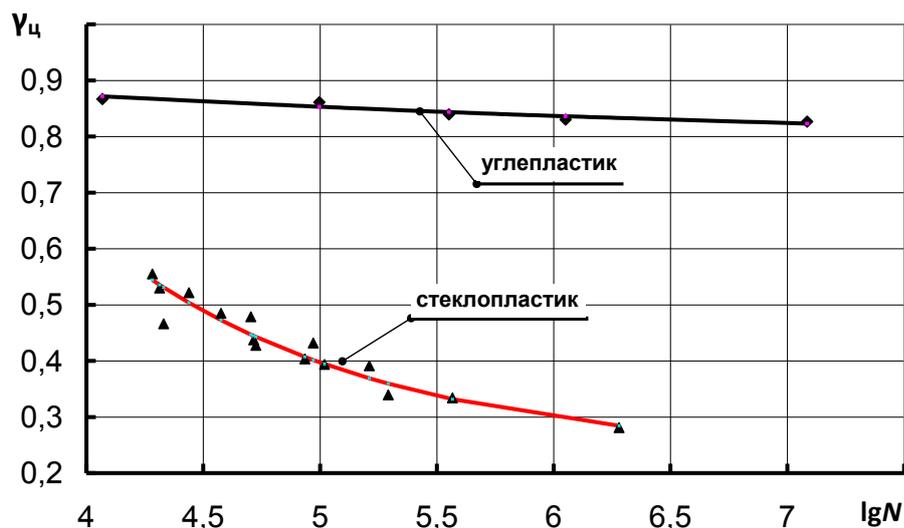


Рисунок 3 – Зависимость усталостной прочности образцов от количества циклов нагружения

Из рисунка видно, что зависимость приведенного напряжения от количества циклов нагружения можно аппроксимировать линией, асимптотически приближающейся к некоторому предельному значению $\gamma_{0ц}$, которое условно будем называть «пределом усталостной прочности». Для результатов испытаний, представленных на рис. 3, получены следующие значения: $\gamma_{0ц}=0,23$ – для стеклопластика и $\gamma_{0ц}=0,77$ – для углепластика. Для области изменения выносливости от 10^4 до 10^7 циклов, аппроксимирующее выражение зависимости приведенного циклического напряжения от долговечности можно представить функцией $\gamma_{ц} = 0,23 + \exp(-0,875 \cdot \lg N + 2,60)$ для стеклопластиковых стержней и функцией $\gamma_{ц} = 0,77 + \exp(-0,216 \cdot \lg N - 1,41)$ для углепластиковых пластин.

Заключение. Проведены циклические испытания продольным изгибом образцов авиационных и строительных композиционных материалов, по результатам которых предложены выражения для прогноза работоспособности исследованных материалов для заданного количества циклов изменения напряжений.

Список литературы

1. Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1981. – 272 с.: ил.
2. Блазнов А.Н., Савин В.Ф., Волков Ю.П. и др. Методы механических испытаний композиционных стержней: монография; под ред. А.Н. Блазнова, В.Ф. Савина. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2011. – 314 с.
3. Савин В.Ф., Блазнов А.Н., Киселев Н.М. Методика определения сопротивления усталости стеклопластиковых стержней круглого сечения / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – Т. 73, № 7. – С. 48-52.
4. Блазнов А.Н., Луговой А.Н., Савин В.Ф. Аппроксимирующие выражения для описания параметров тонкого продольно изогнутого, шарнирно опертого стержня / Известия вузов. Машиностроение. – 2004, № 12. – С. 16-26.

05.22.07

В.Г. Рубан, А.М. Матва

ФГБОУ ВПО Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Электрический подвижной состав»,
Ростов-на-Дону, ruban-vg@yandex.ru

ПОСТРОЕНИЕ КОНФОРМНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗНОГО КОЛЕСА И РЕЛЬСА

В статье рассмотрены теоретические вопросы разработки криволинейного профиля колеса, с целью повышения ресурса бандажей колесных пар электровоза. Исследованы условия построения конформных профилей колеса и рельса, обеспечивающие устойчивость в прямых участках пути и снижение сил взаимодействия гребней с рельсами в кривых.

Ключевые слова: *профиль колеса и рельса, динамика железнодорожного экипажа, моделирование, снижение износа.*

Снижение затрат на эксплуатацию железнодорожного подвижного состава и пути напрямую связано с улучшением взаимодействия колес и рельсов. В последние годы негативные результаты этих процессов выражаются в повышенном износе гребней колесных пар [1, 2].

Большая доля обточек локомотивных колес в депо по причине износа и подреза гребня приводит к значительным потерям металла бандажей колес на так называемый технологический износ, что значительно сокращает срок службы бандажей.

Необходимость повышения ресурса колес подвижного состава и обеспечение безопасного движения требует более детального анализа причин этих явлений. Разработкам способов улучшения взаимодействия колеса и рельса посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ. Одно из направлений увеличения ресурса колес и рельсов – согласование профилей колес и рельсов. При решении этой задачи должны быть решены вопросы выбора критериев совместимости профилей и способов управления профилями [3], с целью снижения напряженного состояния в контакте за счет криволинейной формы профиля колеса.

Основные требования к профилю колеса, с целью продления пробега между обточками, следующие:

- длительное сохранение профиля по кругу катания;
- увеличение времени безгребневого прохождения пологих кривых;
- снижение износа гребней в крутых кривых.

Принципы разработки рационального профиля основаны на формировании конформных профилей колес и рельсов [4].

Контакт колеса и рельса может осуществляться в одной или нескольких точках. Под точкой контакта понимается зона, в которой формируется пятно контакта, форма которого определяется геометрией, напряженным состоянием и взаимным перемещением контактирующих поверхностей.

На ободе колеса условно выделяют три области (рис. 1) [4]. В области *A* осуществляется контакт в средней части обода колеса и передача основной вертикальной нагрузки от колеса на рельс. В области *B* возможен контакт в основании гребня при набегании колеса на рельс. Область *C* – наружные зоны колеса, осуществляющие контакт при больших смещениях колесной пары.

Стандартное коническое колесо имеет вблизи центрального круга катания довольно узкую область *A*, ширина которой соответствует поперечным перемещениям колеса в зазоре колеи. Это приводит к образованию очагов усталостного износа по кругу катания колеса и к

уплощению вершины головки рельса.

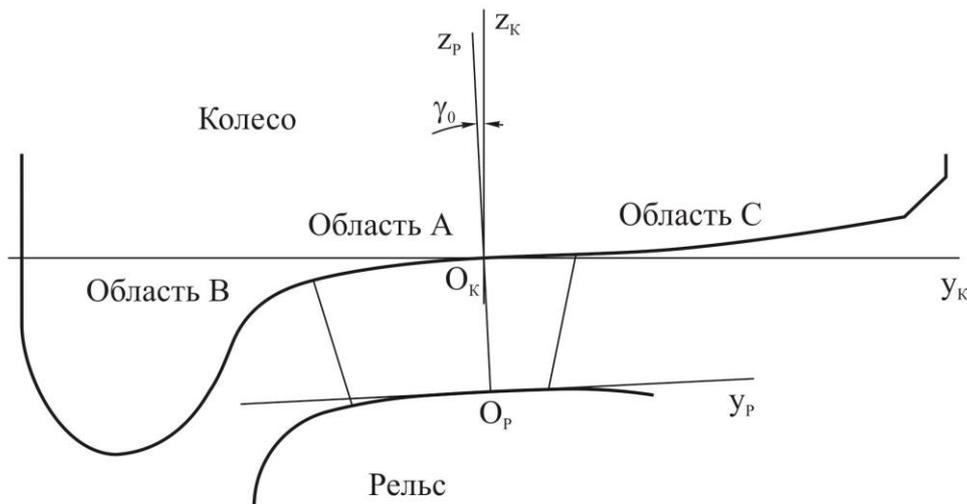


Рис. 1 – Геометрия контакта колеса и рельса

Для согласования профилей колеса и рельса в области *A* необходимо решить следующие задачи:

- 1) сохранить или уменьшить уклон профиля в области *A* вблизи центрального круга катания;
- 2) расширить область *A* по сравнению с коническим профилем;
- 3) увеличить (до определенной величины) радиус колеса на границе областей *A–B*.

Таким свойством обладает криволинейный профиль, имеющий вогнутый участок в области *A*.

Профиль колеса, конформный рельсу и имеющий однотоочечный контакт в области *A*, может быть получен путем трансформирования выпуклой кривой, образующей профиль рельса. Для согласования различных вариантов профилей целесообразно задавать начальный уклон γ равный стандартной подуклонке рельса. При этом начальная точка трансформирования является точкой контакта конического колеса и нового рельса. Кривая профиля колеса $F_K(y_K, z_K)$ является линейным преобразованием кривой профиля рельса $F_P(y_P, z_P)$ в системе координат рельса $O_P y_P z_P$, повернутой на заданный угол γ , при этом координаты вычисляются в виде:

$$y_{ki} = y_{p0} + m \cdot y_{pi};$$

$$z_{ki} = z_{pi},$$

где m – коэффициент преобразования.

Если исходная кривая $F_P(y_P, z_P)$ – гладкая и не имеет точек перегиба, то полученная кривая $F_K(y_K, z_K)$ – также гладкая. При взаимном плоскопараллельном перемещении без перекрытия кривые контактируют в точках, имеющих равные производные. Результаты преобразований представлены на рис. 2. Выбор величины коэффициента преобразования m позволяет получить заданное максимальное значение производной на заданной длине отрезке кривой, что дает возможность формировать профиль колеса в области *A*, имеющий заданные параметры.

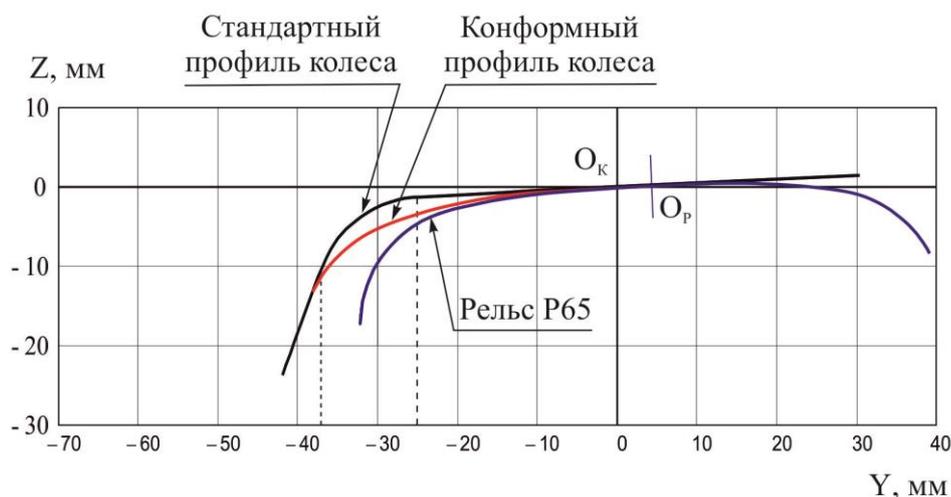


Рис. 2 – Результат преобразования профиля рельса

Полученные зависимости профилей контактирующих тел могут быть преобразованы в характеристики контакта колеса и рельса – зависимости изменения радиуса катания колеса $\Delta r(\Delta y)$ и угла наклона касательной в точке контакта $\beta(\Delta y)$, которые используются для моделирования динамики экипажа [5, 6]. Моделирование динамики экипажа является необходимым этапом оценки разработанного профиля.

Схема выделения основных макро-факторов, учитываемых при оценке влияния профиля на динамику взаимодействия экипажа и пути, показана на рис. 3.

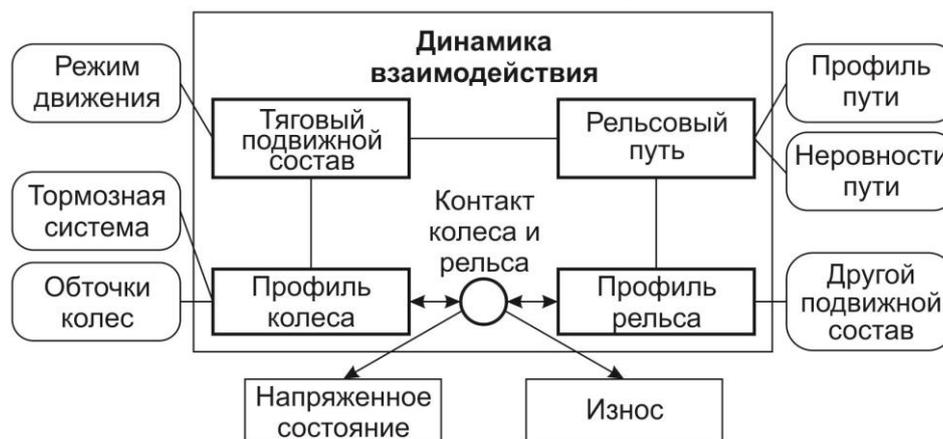


Рис. 3 – Факторы, влияющие на формирование профиля колеса и рельса

Несмотря на многочисленные факторы, влияющие на формирование профиля колеса, размерность задачи может быть существенно снижена для тягового подвижного состава, приписанного к одному депо. Для этого взаимодействие экипажа и пути рассматривается в ряде характерных участках (прямые, пологие и крутые кривые), с присущими для этих участков приработанными профилями рельсов. Например, в работе [7] приведены результаты моделирования экипажа грузового электровоза и показана возможность снижения продольного скольжения при использовании криволинейных профилей колес.

Задача представляется многоэтапной, а оценка результатов обеспечивается проведением мониторинга. Повышение информативности и точности оценок могут быть достигнуты путем применения современных средств измерения профилей колес. В настоящее время существуют различные варианты контактных и бесконтактных устройств определения параметров и профилей колес [8 – 10].

Таким образом, на основании рассмотрения причин износа колес тягового подвижного состава, выбрано направление повышения ресурса бандажей колесных пар электровоза путем разработки рационального профиля колеса.

Форма профиля колеса, конформного профилю рельса на участке эксплуатации, может быть описана с помощью ограниченного набора переменных.

Сравнение вариантов профилей целесообразно проводить методами математического моделирования динамического взаимодействия подвижного состава и пути.

Список литературы

1. Богданов В.М., Захаров С.М. Современные проблемы системы колесо–рельс // Железные дороги мира, 2004.– № 1. – С. 57-62.
2. Богданов В.М. Обеспечение устойчивой работы системы колесо-рельс на отечественных и зарубежных железных дорогах // Вестник ВНИИЖТ, 2010.– № 2.– С. 10-14.
3. Богданов В.М., Жаров И.А., Захаров С.М. Решение проблем управления профилями колес и рельсов // Трение и смазка в машинах и механизмах. "Машиностроение": М., 2007.– № 2.– С. 42-48.
4. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: Перевод с англ. / У. Харрис, С.М. Захаров и др. М.: Интекст, 2002.– 408 с.
5. Рубан В.Г., Матва А.М. Влияние изменения геометрии контактирующих поверхностей на условия взаимодействия колеса и рельса // Сборник научных трудов РГУПС: Минеральные Воды, 2010.– Вып. 16.– С. 88-95.
6. Рубан В.Г., Матва А.М. Влияние характеристик контакта колеса и рельса на динамику экипажа // Сборник научных трудов SWorld.– Одесса, 2013. – Том 3.– Вып. 4.– С. 11-17.
7. Рубан В.Г., Матва А.М., Хачкина С.А. Вопросы взаимодействия пути и колес локомотива при криволинейном профиле бандажей // Вестник Института тяги и подвижного состава: Хабаровск, 2010.– Вып. 6.– С. 118-122.
8. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Построение профиля гребня бандажа колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья.– 2014.– № 4.– С. 73-76.
9. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения.– 2012.– № 2.– С. 46-60.
10. Петров С.Ю., Рябов А.А., Кокорин Р.В. Неравномерность износа гребня по периметру колеса // Локомотив.– 2013.– № 9.– С. 37-40.

05.22.10

Н.О. Сапоженков, А.Н. Макарова

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В статье рассмотрено влияние температуры воздуха и интенсивности эксплуатации на поток отказов элементов электрооборудования автомобилей. Разработаны рекомендации по организации снабжения запасными частями с учетом сезонных условий.

Ключевые слова: *электрооборудование автомобилей, сезонные условия, запасные части.*

Надежность автомобилей зависит от условий эксплуатации, которые меняются по сезонам [1, 2, 4, 5, 6, 7]. Поэтому в течение года изменяется поток отказов автомобилей, потребность в трудовых и материальных ресурсах, производственных площадях [1].

Существующие методы планирования потребности в запасных частях учитывают это изменение недостаточно [3].

Целью исследований является установление закономерностей влияния температуры воздуха на надежность электрооборудования автомобилей и разработка рекомендаций по организации снабжения запасными частями с учетом сезонных условий.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи.

1. Установить закономерность влияния температуры воздуха на надежность электрооборудования автомобилей.
2. Экспериментально определить фактическое количество отказов электрооборудования автомобилей по месяцам в течение года.
3. Разработать рекомендации по организации снабжения запасными частями с учетом сезонных условий.

Сезонные условия можно характеризовать температурой воздуха, количеством осадков, влажностью воздуха, скоростью ветра, солнечной радиацией. Но все их учитывать не обязательно, так как каждый из них связан с температурой [1].

Для решения первой задачи проведен анализ литературы. Ранее установлено, что параметр потока отказов и неисправностей автомобиля зависит от температуры воздуха, которая меняется по сезонам [1].

Для установления закономерностей влияния сезонных условий на надежность электрооборудования проведен эксперимент. Эксперимент включал сбор данных о среднемесячных пробегах автомобилей и об отказах элементов электрооборудования.

Пробеги автомобилей за месяц получены путем опроса владельцев. Данные об отказах автомобилей фиксируются в ремонтных листках и в журнале бригадира зоны текущего ремонта.

На основе данных об отказах рассчитан параметр потока отказов для каждого месяца. По этим данным построен график, представленный на рис. 1. Сопоставление данных об отказах и средних температур по каждому месяцу позволило установить зависимость, представленную на рис. 2.

Для практического использования полученных результатов разработана методика расчета потребности в запасных частях с учетом сезонных условий. Предлагается потребность в ресурсах N за период времени T_i рассчитывать по формуле:

$$N_i = H \cdot T_i \cdot \sum_{j=1}^{A_c} l_{ji} \cdot K,$$

где H – норма расхода на километр пробега автомобиля;

l_{ji} – интенсивность эксплуатации j -го автомобиля за i -й период;

A_c – списочное количество автомобилей;

K – коэффициент сезонной неравномерности требований на запасные части.

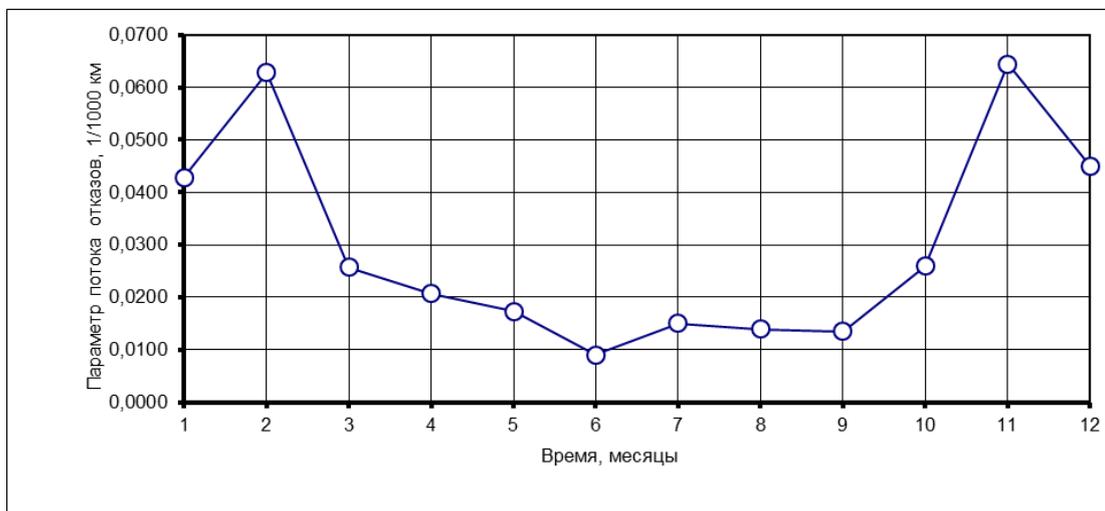


Рис. 1. Изменение по времени параметра потока отказов элементов электрооборудования автомобилей

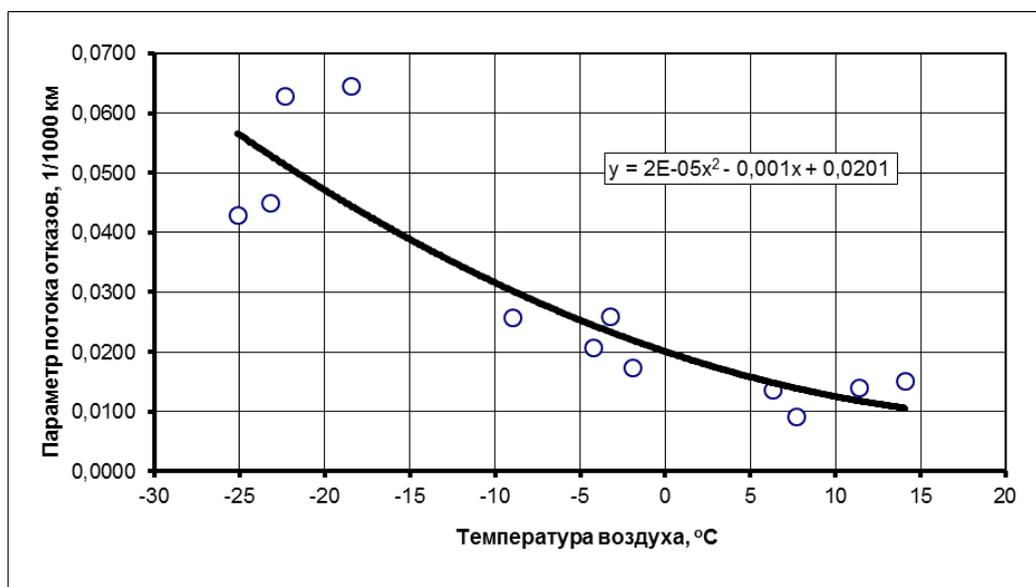


Рис. 2. Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов элементов электрооборудования автомобилей

На основе полученных результатов рассчитаны значения коэффициента сезонной неравномерности требований на запасные части (табл. 1).

Таблица 1

Значения коэффициента сезонной неравномерности требований на запасные к элементам электрооборудования автомобилей

Месяц	t, °С	l, тыс. км/мес.	ω , 1/1000 км	K
Январь	-25,1	1,03	0,043	2,55
Февраль	-22,3	1,04	0,063	2,24
Март	-9,0	1,07	0,026	1,10
Апрель	-4,2	1,18	0,021	0,84
Май	-1,9	1,20	0,017	0,74
Июнь	7,7	1,24	0,009	0,51
Июль	14,1	1,31	0,015	0,53
Август	11,4	1,18	0,014	0,50
Сентябрь	6,3	1,33	0,014	0,52
Октябрь	-3,2	1,20	0,026	0,79
Ноябрь	-18,4	1,06	0,064	1,85
Декабрь	-23,2	1,12	0,045	2,34

Использование предложенной методики позволяет снизить стоимость оборотных фондов и уменьшить затраты на эксплуатацию автомобилей.

Таким образом, в результате выполненных исследований установлена закономерность влияния температуры воздуха на надежность электрооборудования автомобилей, экспериментально определено фактическое количество отказов электрооборудования автомобилей по месяцам в течение года, разработаны рекомендации по организации снабжения запасными частями с учетом сезонных условий, определен экономический эффект от использования результатов исследований.

Список литературы

1. *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.
2. *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. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2012. – № 12. Ч 2. – С. 186–191.
3. *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
4. *Konev V.* Thermal preparation of the trailbuilder fluid drive [Текст]/ Sh. Merdanov, M. Karnaukhov & D. Borodin // Energy Production and Management in the 21st Century - The Quest for Sustainable Energy, 2014, Vol. 1 - Southampton. WIT Press, 2014. - p. 697-706.
5. *Мерданов Ш.М.* Исследование и разработка системы тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / Ш.М. Мерданов, Ю.Я. Якубовский, В.В. Конев, М.М. Карнаухов // Строительные и дорожные машины. – 2013. – № 1. – С. 27-29.
6. *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.
7. *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.

05.23.08

С.Б. Сборщиков д.э.н.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
кафедра «Технологии, организации и управления в строительстве», Москва tous2004@mail.ru

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Энергетическая отрасль нашей страны постоянно развивается, в настоящее время ведутся работы по сооружению 10-ти новых энергоблоков. Тем не менее, необходимо констатировать недостаточное качество организационно-технологических решений при строительстве подобных объектов. Интеграция методологий технологии, организации и экономики строительства позволит получить синергетический эффект, который должен будет проявиться в снижении сроков и стоимости возведения новых энергоблоков.

Ключевые слова: *атомная энергетика, строительство, организационно-технологическое проектирование, управление.*

Энергетическая стратегия России предусматривает устойчивое увеличение доли атомной энергетики в общем объеме генерации до 22 % к 2020 г. В настоящее время в Российской Федерации ведутся работы по сооружению 10-ти новых энергоблоков. Не требует доказательства, что строительство новых энергоблоков достаточно затратный процесс, предполагающий существенное и длительное высвобождение из оборота финансовых ресурсов. Поэтому логичным является концентрация сил и средств, направленных на достижение требуемой продолжительности возведения атомных станций, уменьшения стоимости их строительства и тем самым формирования конкурентных преимуществ продукции ядерного строительства [1;2;3].

Однако следует отметить, что в сфере строительства, в том числе и объектов атомной энергетики, имеются определенные проблемы, сдерживающие интенсификацию и о наличии которых свидетельствует инцидент, связанный с разрушением армокаркаса наружной защитной оболочки здания реакторного отделения энергоблока № 1 Ленинградской АЭС-2. Данный инцидент явился следствием ошибок и недочетов при проектировании и строительстве, а также слабого строительного контроля.

В работе комиссии ОАО «Концерн Росэнергоатом» по установлению причин этой аварии участвовали специалисты МГСУ, которые посетили все строящиеся на тот момент энергоблоки и отметили что наиболее рационально строительство налажено на Нововоронежской АЭС.

Необходимо констатировать в общем недостаточное качество организационно-технологических решений и собственно организационно-технологической документации (ПОС, ППР, ПОР, технологических карт).

В этой связи представляется целесообразным решение комплекса взаимосвязанных задач, которые можно объединить в три группы.

Первая группа задач – **разработка рациональной технологии возведения атомных станций**. Данная задача предполагает реализацию следующих мероприятий:

1. Актуализация отраслевых норм проектирования и строительства в соответствии с современными требованиями, которые обусловлены НТП (а именно: использованием новых методов расчета конструкций на основе передового программного обеспечения, новых строительных материалов, новых технологий строительного производства, новых методов организации и управления строительством с помощью средств телекоммуникации и компьютерных программ).

2. Разработка методических рекомендаций на выполнение организационно-технологической документации (ПОС, ППР, ПОР, технологические карты), стандартизация и унификация этих документов по составу и объему. В настоящее время существует проблема некачественного выполнения организационно-технологической документации, которая в ряде случаев носит номинальный характер и не соответствует требованиям, предъявляемым к составу и объему этих документов.

3. Выработка системы, мер направленных на снижение объём бетона при возведении отечественных атомных станций за счет факторов отмеченных в п. 1.

Вторая группа задач – **разработка методологических принципов и методических рекомендаций по формированию системы управления механизацией и материально-техническим обеспечением строительства атомных станций.** Для решения этой задачи необходимы следующие мероприятия:

1. Разработка методик расчета потребности в средствах механизации по виду, маркам машин и на этой основе формирование типовых решений по механизации строительства новых энергоблоков АЭС.

2. Проработка типовых графиков движения машин, механизмов и потребления ресурсов в составе организационно-технологической документации и разработка методик оптимизации календарных графиков по времени и ресурсам.

3. Разработка типовых логистических схем доставки грузов до строительной площадки, движение материалов, изделий, конструкций на строительной площадке и их потребление на рабочих местах, а также методик их увязки с конкретными условиями строительства.

4. Формирование методик обоснования массы укрупненных блоков, предполагающих учет не только рост степени индустриализации строительства, но и оптимизации номенклатуры используемых машин, механизмов и площадей мест укрупнительной сборки.

5. Проработка типовых организационно-технологических решений подготовительного периода строительства атомных станций с целью формирования рационального состава и объема баз строительства, в том числе и складского хозяйства.

Первая и вторая группа задач предполагает использование в качестве базиса такие организационно-технические решения как инжиниринговая схема управления и кластерная модель строительного производства.

Необходимо отметить, что в основе данной схемы находится интеграция методологии управления проектами и календарного планирования, которое затем воплощается в виде организационно-технологической документации (ПОР, ПОС, ППР и технологические карты) и документов оперативного планирования строительства. В этой связи предполагается целесообразным разработать комплекс стандартных моделей, которые могли бы стать основой формирования указанных организационно-технологических и оперативных документов, а также многомерного (мульти-D) проектирования.

Третья группа задач – **проведение производственного и сметного нормирования в рамках применяемых технологий возведения атомных станций** с целью установление адекватных норм и расценок на выполняемые работы. Для решения задачи целесообразно:

Во-первых, осуществление комплекса работ по определению нормируемых затрат рабочего и машинного времени, а также калькулирование укрупненных показателей стоимости на конструктивный элемент, вид работ и т. д.

Во-вторых, разработка методических рекомендаций по использованию норм и расценок при проектировании новых энергоблоков атомных станций, в том числе и укрупненных показателей стоимости.

Указанному выше полностью соответствует реализуемый ФЦС (в котором участвует МГСУ) подход ценообразования, предполагающий создание укрупненных нормативов, т. н. нормативов цены на строительство (НЦС) и нормативов цены на конструктивные решения (НЦКР), учитывающих применение передовых технологий и перспективных новых материалов.

Таким образом, приведенные выше первая и вторая группы задач представляют собой организационно-технологическую составляющую проблемы интенсификации строительства объектов атомной энергетики, а третья группа задач – экономическую. Взаимосвязанное решение задач данных групп на основе интеграции методологий технологии, организации и экономики строительства позволит получить синергетический эффект, который должен будет проявиться в снижении сроков и стоимости возведения новых энергоблоков.

Список литературы

1. *Сборщиков С.Б.* Теоретические основы формирования новых организационных схем реализации инвестиционно-строительных проектов в энергетическом секторе на основе интеграции принципов логистики и инжиниринга // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 146-151.
2. *Сборщиков С.Б., Маркова И.М.* Новые организационные схемы реализации инвестиционно-строительных проектов в энергетическом секторе // Вестник МГСУ. 2010. № 4. Т 5. С. 335-340.
3. *Кудеева Е.А., Севек В.К.* Механизмы инвестиционно-строительной деятельности // Экономическое возрождение России. 2012. № 1. Т. 31. С. 103-111.

05.17.01

О.Р. Середкина, М.А. Куликов, С.Г. Козлов, О.К. Косвинцев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, olga_g@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ ГАЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ

Кратко рассматривается работа сильвинитовой обогатительной фабрики первого Соликамского калийного рудоуправления ОАО «Уралкалий». Обозначена проблема солеотложения на внутренних поверхностях теплообменного оборудования фабрики. Установлен фазовый состав отложений из трубного пространства подогревателей маточного раствора, основным компонентом которых является сульфат кальция.

Ключевые слова: сильвинитовая обогатительная фабрика, процесс солеотложения, рентгенофазовый анализ, фазовый состав отложений.

Современное производство калийных удобрений является одной из наиболее развитых отраслей туковой промышленности. Наиболее распространённым калийным удобрением является хлорид калия. В настоящее время главным источником сырья для получения KCl являются сильвинитовые руды, представляющие собой сростки сильвина (до 30 %, иногда больше) и галита (до 80 %). Сильвинитовые руды, как правило, содержат примеси карналлита, сульфата магния и нерастворимый остаток, в состав которого входят глины (алюмосиликаты, гидрослюды, полевой шпат) – 42-51 %; сульфаты (ангидрит CaSO₄, гипс CaSO₄×2H₂O) – 5-30 %; карбонаты кальция и магния переменного состава (доломит, магнезит) – 10-20 % [1-3].

В условиях сильвинитовой обогатительной фабрики первого Соликамского калийного рудоуправления (СОФ СКРУ-1) хлорид калия получают в результате галургической переработки сильвинитовой руды. Сущность галургического процесса заключается в избирательном растворении сильвина, с последующей кристаллизацией хлорида калия из горячего осветлённого насыщенного щёлока.

Основной задачей стадии растворения является получение раствора с высокой степенью насыщения по хлориду калия при одновременном максимальном его выщелачивании из руды. Эффективность выщелачивания KCl зависит от таких факторов, как соотношение «руда – растворяющий щёлок», температурный режим на стадии растворения, грансостав исходного сильвинита. Полученный в результате растворения горячий насыщенный щёлок содержит взвешенные частицы солевого и глинистого шлама, для удаления которых предусмотрена стадия осветления.

Кристаллизация хлорида калия из осветлённого насыщенного раствора осуществляется на 14-ступенчатой вакуум-кристаллизационной установке (ВКУ), состоящей из одного вертикального и восьми горизонтальных вакуум-кристаллизаторов. Горизонтальные вакуум-кристаллизаторы имеют перемешивающие устройства для поддержания суспензии кристаллизата во взвешенном состоянии. На ВКУ происходит ступенчатое выпаривание воды из насыщенного осветлённого щёлока с одновременным его охлаждением, что приводит к кристаллизации KCl. Вакуум создаётся, как и в случае регулируемой вакуум-кристаллизационной установки [4], за счёт конденсации пара в поверхностных и барометрических конденсаторах, а также системой пароструйных эжекторов и водокольцевых вакуум-насосов.

Первые девять ступеней ВКУ функционируют с рекуперацией тепла растворного пара, которое утилизируется нагреванием растворяющего щёлока. Эффективность рекуперации тепла оценивают по разнице температур растворяющего щёлока до и после поверхностных

конденсаторов; эта разница должна быть не менее 33 °С. На 10-14 ступенях температура растворного пара достаточно низкая, поэтому рекуперация тепла на этих ступенях нецелесообразна.

Как уже отмечалось, одним из факторов, влияющих на эффективность выщелачивания хлорида калия, является температурный режим растворения, обеспечиваемый поддержанием температуры щёлочка не менее 118 °С. Нагрев растворяющего щёлочка осуществляется в два этапа: рекуперацией тепла растворного пара ВКУ в поверхностных конденсаторах и свежим паром в подогревателях. При этом маточный щёлочок движется в трубном пространстве, а пар подаётся в межтрубное пространство.

В процессе эксплуатации теплообменного оборудования наблюдается отложение нерастворимых солей на внутренних поверхностях труб, что влечет за собой повышение энергетических затрат, сокращение ресурса работы оборудования и его производительности, и, как следствие, снижение экономической эффективности производства [5, 6].

Для определения химического состава были отобраны пробы отложений из трубного пространства подогревателей маточного щёлочка. Проведённый анализ показал, что 79 % пробы составляет нерастворимый в воде остаток (предположительно сульфат кальция), в водной вытяжке обнаружено 2,2 % KCl, 4,2 % CaSO₄, 10,2 % NaCl.

Для определения фазового состава был проведён рентгенофазовый анализ с применением рентгеновского дифрактометра XRD-7000 японской фирмы «Shimadzu», обработка рентгенограмм проведена с использованием программного обеспечения «XRD 6000/7000, ver. 5.21».

Определение фазового состава анализируемых образцов проводилось с использованием базы данных «ICDD PDF-4 + 2013».

Условия проведения анализа (съёмки образца на дифрактометре) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия проведения рентгенофазового анализа

Диапазон угла сканирования, град	Рентгеновская трубка	Напряжение трубки, кВ	Ток трубки, мА	Скорость сканирования, град/мин	Шаг сканирования, град	Щели		
						DS, град	SS, град	RS, мм
от 10 до 80	Cu	30	30	1	0,01	1	1	0,15

Для отделения K_β составляющей рентгеновского излучения при проведении анализов использовался монохроматор.

Полученные рентгенограммы подвергнуты обработке, которая включала сглаживание, вычитание фона и отделение K_{α2} рентгеновского излучения.

Результаты представлены в таблице 2. Расшифровка данных таблицы 2 позволила сделать следующие выводы.

Пики № 2, 3, 6, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 37 характерны для CaSO₄, минерал «Anhydrite», пространственная группа Bmmb.

Пики № 4, 10, 17, 23, 25, 31, 36 характерны для NaCl, минерал «Halite», пространственная группа Fm-3m. Пики № 5, 13, 21 характерны для KCl, минерал «Sylvine», пространственная группа Fm-3m.

Пики № 1, 7, 8 соответствуют примесям, однозначно определить состав которых с использованием данного метода анализа невозможно. Однако анализ рентгенограммы, все

же позволяет установить, для каких веществ характерны данные пики (являются основными пиками на рентгенограммах чистых веществ).

Таблица 2 – Информация о пиках на рентгенограмме образца СОФ СКРУ-1

№ пика	Угол дифракции рентгеновского луча ^o	Межплоскостное расстояние, Å	Интенсивность пика	Отношение интенсивности данного пика к интенсивности максимального пика, %
1	20,7698	4,27327	28	1
2	22,9523	3,87163	52	1
3	25,4817	3,49276	5141	100
4	27,3709	3,25582	63	1
5	28,3714	3,14324	206	4
6	28,6256	3,11591	34	1
7	29,1393	3,06213	37	1
8	30,985	2,88381	28	1
9	31,3896	2,84755	440	9
10	31,7114	2,81939	3556	69
11	36,3042	2,47255	123	2
12	38,6589	2,32719	232	5
13	40,5313	2,2239	73	1
14	40,836	2,20801	202	4
15	41,3233	2,18309	138	3
16	43,3527	2,08548	102	2
17	45,4411	1,99437	598	12
18	46,8543	1,93746	37	1
19	48,701	1,86822	178	3
20	49,1393	1,85258	43	1
21	50,1981	1,81596	26	1
22	52,2849	1,74828	459	9
23	53,8582	1,70086	22	1
24	55,7364	1,64791	145	3
25	56,4571	1,62858	82	2
26	57,7751	1,59452	27	1
27	59,0102	1,56406	62	1
28	60,6824	1,5249	45	1
29	62,2466	1,49028	59	1
30	65,4638	1,42461	30	1
31	66,2051	1,41045	219	4
32	66,9687	1,39621	25	1
33	71,4325	1,31952	35	1
34	72,878	1,29687	17	1
35	74,1988	1,27702	63	1
36	75,2617	1,2616	132	3
37	78,6189	1,21593	28	1

При поиске возможных фаз в расчёт взяты вещества, в составе которых могут содержаться элементы: Н, О, S, Cl, Na, К, Mg, Ca, Al, Si, Fe.

Пик № 1 характерен для следующих веществ: $\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Пик № 7 характерен для следующих веществ: $\text{K}(\text{Al,Fe,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, $\text{KMg}_4\text{Al}_9\text{Si}_9\text{O}_{36}$, $(\text{K,Na})\text{AlSiO}_4$. Пик № 8 характерен для следующих веществ: $\text{Ca}_3\text{MgAl}_4\text{O}_{10}$, $\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_9\text{O}_{30} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Другими словами, данные пики могут характеризовать алюмосиликаты различного строения, поступающие в производственный цикл, в том числе, и с исходным сильвинитом.

Проблема образования нерастворимых отложений в трубном пространстве подогревателей маточного щелока актуальна и для сильвинитовой обогатительной фабрики четвёртого Березниковского калийного производственного рудоуправления (СОФ БКПРУ-4) ОАО «Уралкалий». В связи с этим были отобраны пробы отложений с соответствующих подогревателей маточного щелока и проведён их рентгенофазовый анализ, результаты которого представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Информация о пиках на рентгенограмме образца СОФ БКПРУ-4

№ пика	Угол дифракции рентгеновского луча, °	Межплоскостное расстояние, Å	Интенсивность пика	Отношение интенсивности данного пика к интенсивности максимального пика, %
1	22,9568	3,87088	33	1
2	25,4704	3,49429	3561	100
3	26,6995	3,33615	56	2
4	28,6122	3,11733	29	1
5	31,383	2,84814	253	7
6	31,9877	2,79566	26	1
7	36,2964	2,47306	95	3
8	38,6511	2,32765	151	4
9	40,8261	2,20852	134	4
10	41,3205	2,18323	79	2
11	43,3477	2,08571	64	2
12	45,4565	1,99373	43	1
13	48,6918	1,86855	121	3
14	49,1536	1,85207	29	1
15	52,2552	1,7492	292	8
16	55,7309	1,64806	87	2
17	58,9909	1,56452	50	1
18	60,6924	1,52467	28	1
19	62,2536	1,49013	36	1
20	71,4284	1,31959	25	1
21	74,2011	1,27699	40	1

Пики № 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 на рентгенограмме образца характерны для CaSO_4 , минерал «Anhydrite», пространственная группа Vmmb .

Однозначно определить, какому веществу соответствует пик № 3 с использованием данного метода анализа нельзя, можно только дать предположительный список веществ, для которых характерен данный пик. Это $\text{KAl}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (пространственная группа – C2/c), $\text{K}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$ (минерал «Sanidine», пространственная группа – C2/m) и ряда других алюмосиликатов.

Таким образом, на основании полученных данных установлено, что основным компонентом отложений, образующихся в трубном пространстве подогревателей растворяющего щелока на СОФ СКРУ-1 и БКПРУ-4, является сульфат кальция. При горячем выщелачивании сильвинита в раствор, кроме хлорида калия, частично переходят и другие соли, в том числе и сульфат кальция. Увеличение концентрации CaSO_4 в циркулирующем потоке приводит к его кристаллизации на поверхности теплообменного оборудования. Исследования, проводимые в этом направлении, позволят в дальнейшем снизить негативные последствия инкрустации и повысить экономическую эффективность производства.

Список литературы

1. *Кудряшов А.И.* Верхнекамское месторождение солей. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. – 429 с.
2. *Тетерина Н.Н.* Состояние и перспективы технологической минералогии калийных руд / Тетерина Н.Н., Хронусов В.В., Сметанников А.Ф., Молоштанова Н.Е. // Сборник научных статей к 30-летию ОАО «Галургия». – Пермь, 2002. С. 195 – 207.
3. *Смирнов С.А., Пойлов В.З., Лановецкий С.В., Рупчева В.А.* Исследование процесса выделения ионов магния из оборотных щелоков калийных обогатительных фабрик. – Химическая промышленность сегодня, 2012. №4. С. 9-13.
4. *Куликов М.А., Козлов С.Г.* Проблема отложения нерастворимых солей при эксплуатации вакуум-кристаллизационной установки ОАО «Уралкалий». – Научно-технический вестник Поволжья, 2014. № 4. С. 140 – 142.
5. *Нисина О.Е., Козлов С.Г., Лановецкий С.В., Косвинцев О.К.* Исследование процесса отложения солей на технологическом оборудовании. – Научно-технический вестник Поволжья, 2012. № 4. С. 164 – 168.
6. *Куликов М.А., Козлов С.Г., Середкина О.Р.* Отложение нерастворимых солей на технологическом оборудовании производства хлорида калия. – Научно-технический вестник Поволжья, 2014. № 1. С. 100 – 103.

05.13.18

И.Н. Сидоров, В.В. Туктарова

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева, кафедра теоретической и прикладной механики и математики,
Казань, vvs828@mail.ru

ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ И ДЕМПФИРОВАНИЯ ОПОР РАЗГОННО-БАЛАНСИРОВОЧНОГО СТЕНДА ПРИ БАЛАНСИРОВКЕ ГИБКИХ РОТОРОВ

В работе представлен алгоритм идентификации коэффициентов жесткости и демпфирования стоек опор разгонно-балансирующего стенда, необходимый для пересчета значений параметров вибрации валопровода, замеренных на корпусах стоек на истинные параметры вибрации вала и балансировке гибких роторов на околокритических и рабочих частотах.

Ключевые слова: балансировка гибких роторов, коэффициенты жесткости и демпфирования стоек опор.

Балансировку валопроводов турбоагрегатов проводят двумя способами: валопровода в рабочих условиях и его отдельных роторов на разгонно-балансирующем стенде (далее РБС). При балансировке гибких роторов на РБС существуют следующие проблемы:

– устранение повышенной вибрации на околокритических частотах (особенно на второй частоте) приводит к большому числу пусков ротора;

– значения параметров вибрации ротора валопровода замеряются не на самом валу, а на корпусе стоек опор. Значения параметров вибрации на стойках не дают полного представления о влиянии корректирующих грузов на вибросостояние ротора. Поэтому необходимо либо проводить замеры виброперемещений самого ротора, либо определять эти виброперемещения расчетным путем. Первый подход является технически сложным в реализации, второй позволяет по замеренным виброперемещениям стоек определить влияние корректирующих грузов на виброперемещения ротора. Но для этого необходимо знать динамические характеристики стоек при различных частотах вращения вала. В реальности определение этих характеристик расчетным путем является практически невыполнимой задачей. В этой связи важной задачей является идентификация указанных характеристик на основе экспериментальных данных и математической модели ротора. Математическая модель взаимодействия вала со стойками представлена работами [1], [2].

Будем полагать, что опоры ротора расположены на абсолютно жестком фундаменте и состоят из двух основных элементов, обладающих упругими и демпфирующими свойствами: подшипника (смазочного слоя) и стойки. Так же следует отметить, что на РБС осуществляется замер только амплитуд и фаз вертикальных виброскоростей.

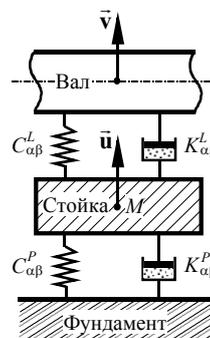


Рис. 1– Схема взаимодействия ротора с опорой и фундаментом, где $C_{\alpha\beta}^L, K_{\alpha\beta}^L, C_{\alpha\beta}^P, K_{\alpha\beta}^P$ – коэффициенты жесткости и демпфирования подшипника и стойки, \bar{v} – перемещения вала, \bar{u} – перемещения стойки, M – приведенная масса стойки.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия вала с опорой. Силы взаимодействия фундамента, стойки и вала зависят от величин перемещений и скоростей и при малых значениях последних будут их линейными функциями. При поступательных перемещениях вала силы взаимодействия определяются выражениями (по повторяющимся индексам проводится суммирование):

$$T_{\alpha} = -C_{\alpha\beta}^L(v_{\beta} - u_{\beta}) - K_{\alpha\beta}^L(\dot{v}_{\beta} - \dot{u}_{\beta}), \quad F_{\alpha} = -C_{\alpha\beta}^P u_{\beta} - K_{\alpha\beta}^P \dot{u}_{\beta}$$

или в векторно – матричном виде:

$$\bar{\mathbf{T}} = -\mathbf{C}^L(\bar{\mathbf{v}} - \bar{\mathbf{u}}) - \mathbf{K}^L(\dot{\bar{\mathbf{v}}} - \dot{\bar{\mathbf{u}}}), \quad \bar{\mathbf{F}} = -\mathbf{C}^P \bar{\mathbf{u}} - \mathbf{K}^P \dot{\bar{\mathbf{u}}}, \quad (1)$$

где T_{α} , F_{α} – динамические реакции, действующие со стороны подшипника на вал и со стороны фундамента на стойку.

Уравнения движения стойки с учетом сил (1) будут иметь вид

$$-M \ddot{\bar{\mathbf{u}}} - \bar{\mathbf{T}} + \bar{\mathbf{F}} = \mathbf{0}. \quad (2)$$

При гармоническом возмущении с круговой частотой Ω перемещения и силы также будут изменяться по гармоническому закону:

$$\bar{\mathbf{v}} = \bar{\mathbf{v}}^c \cos \Omega t + \bar{\mathbf{v}}^s \sin \Omega t, \quad \bar{\mathbf{u}} = \bar{\mathbf{u}}^c \cos \Omega t + \bar{\mathbf{u}}^s \sin \Omega t, \quad (3)$$

$$\bar{\mathbf{T}} = \bar{\mathbf{T}}^c \cos \Omega t + \bar{\mathbf{T}}^s \sin \Omega t, \quad \bar{\mathbf{F}} = \bar{\mathbf{F}}^c \cos \Omega t + \bar{\mathbf{F}}^s \sin \Omega t.$$

При этом для гармонических составляющих реакций (1) будем иметь следующие выражения:

$$\bar{\mathbf{T}}^{c(s)} = -\mathbf{C}^L(\bar{\mathbf{v}}^{c(s)} - \bar{\mathbf{u}}^{c(s)}) \mp \Omega \mathbf{K}^L(\bar{\mathbf{v}}^{s(c)} - \bar{\mathbf{u}}^{s(c)}), \quad (4)$$

$$\bar{\mathbf{F}}^c = -\mathbf{C}^P \bar{\mathbf{u}}^c - \Omega \mathbf{K}^P \bar{\mathbf{u}}^s, \quad \bar{\mathbf{F}}^s = -\mathbf{C}^P \bar{\mathbf{u}}^s + \Omega \mathbf{K}^P \bar{\mathbf{u}}^c, \quad (5)$$

а из (2) с учетом (3), (4), (5) следуют соотношения, связывающие гармонические составляющие перемещений стойки и вала:

$$\mathbf{C}_{\Sigma} \bar{\mathbf{u}}^c + \Omega \mathbf{K}_{\Sigma} \bar{\mathbf{u}}^s = \mathbf{C}^L \bar{\mathbf{v}}^c + \Omega \mathbf{K}^L \bar{\mathbf{v}}^s, \quad -\Omega \mathbf{K}_{\Sigma} \bar{\mathbf{u}}^c + \mathbf{C}_{\Sigma} \bar{\mathbf{u}}^s = -\Omega \mathbf{K}^L \bar{\mathbf{v}}^c + \mathbf{C}^L \bar{\mathbf{v}}^s, \quad (6)$$

где обозначено $\tilde{\mathbf{C}}_{\alpha\beta}^P = \mathbf{C}_{\alpha\beta}^P - \Omega^2 M \delta_{\alpha\beta}$, $\mathbf{C}_{\Sigma} = \tilde{\mathbf{C}}^P + \mathbf{C}^L$, $\mathbf{K}_{\Sigma} = \mathbf{K}^P + \mathbf{K}^L$.

Выражая из (6) перемещения стойки через перемещения вала, получим:

$$\bar{\mathbf{u}}^c = \mathbf{K}_c \bar{\mathbf{v}}^c + \Omega \mathbf{K}_s \bar{\mathbf{v}}^s, \quad \bar{\mathbf{u}}^s = \mathbf{K}_c \bar{\mathbf{v}}^s - \Omega \mathbf{K}_s \bar{\mathbf{v}}^c. \quad (7)$$

$$\mathbf{K}_c = \mathbf{D}_{\Sigma}^{-1}(\mathbf{C}^L + \Omega^2 \mathbf{K}_{\Sigma} \mathbf{C}_{\Sigma}^{-1} \mathbf{K}^L), \quad \mathbf{K}_s = \mathbf{D}_{\Sigma}^{-1}(\mathbf{K}^L - \mathbf{K}_{\Sigma} \mathbf{C}_{\Sigma}^{-1} \mathbf{C}^L), \quad \mathbf{D}_{\Sigma} = \mathbf{C}_{\Sigma} + \Omega^2 \mathbf{K}_{\Sigma} \mathbf{C}_{\Sigma}^{-1} \mathbf{K}_{\Sigma}. \quad (8)$$

Из уравнений (2) с учетом (3), (5) гармонические составляющие реакции вала можно также записать как

$$\bar{\mathbf{T}}^{c(s)} = -\tilde{\mathbf{C}}^P \bar{\mathbf{u}}^{c(s)} \mp \Omega \mathbf{K}^P \bar{\mathbf{u}}^{s(c)}. \quad (9)$$

Используя (7), реакции (9) выразим через перемещения вала:

$$\bar{\mathbf{T}}^c = -\mathbf{C} \bar{\mathbf{v}}^c - \Omega \mathbf{K} \bar{\mathbf{v}}^s, \quad \bar{\mathbf{T}}^s = -\mathbf{C} \bar{\mathbf{v}}^s + \Omega \mathbf{K} \bar{\mathbf{v}}^c, \quad (10)$$

где \mathbf{C} и \mathbf{K} матрицы динамических коэффициентов жесткости и демпфирования всей опоры в целом, определяемые выражениями:

$$\mathbf{C} = \tilde{\mathbf{C}}^P \mathbf{K}_c - \Omega^2 \mathbf{K}^P \mathbf{K}_s, \quad \mathbf{K} = \tilde{\mathbf{C}}^P \mathbf{K}_s + \mathbf{K}^P \mathbf{K}_c. \quad (11)$$

Конструктивно на РБС стойки выполнены таким образом, что они являются изотропными и имеют место представления $\tilde{\mathbf{C}}^P = \tilde{\mathbf{c}}_p \mathbf{E}$, $\mathbf{K}^P = \mathbf{k}_p \mathbf{E}$, где $\tilde{\mathbf{c}}_p = \mathbf{c}_p - \Omega^2 M$, \mathbf{c}_p , \mathbf{k}_p – коэффициенты жесткости и демпфирования стойки, \mathbf{E} – единичная матрица. Тогда на основании (11) матрицы \mathbf{C} , \mathbf{K} , \mathbf{C}_{Σ} и \mathbf{K}_{Σ} запишутся как

$$\mathbf{C} = \tilde{\mathbf{c}}_p \mathbf{K}_c - \Omega^2 \mathbf{k}_p \mathbf{K}_s, \quad \mathbf{K} = \tilde{\mathbf{c}}_p \mathbf{K}_s + \mathbf{k}_p \mathbf{K}_c, \quad (12)$$

$$\mathbf{C}_{\Sigma} = \tilde{\mathbf{c}}_p \mathbf{E} + \mathbf{C}^L, \quad \mathbf{K}_{\Sigma} = \mathbf{k}_p \mathbf{E} + \mathbf{K}^L,$$

и для их вычисления необходимо знать $\tilde{\mathbf{c}}_p$ и \mathbf{k}_p , которые предлагается определять теоретико – экспериментальным методом.

Для этого введем обозначение $\bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)}$ ($m=1,2$) – вектор виброскорости стойки с номером m . Тогда в соответствии с (3), (4), (9) имеем

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{T}}_{(m)}^c &= \frac{\tilde{\mathbf{c}}_{(m)}^P}{\Omega} \bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)}^s - \mathbf{k}^P \bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)}^c = -\mathbf{C}^L (\bar{\mathbf{v}}_{(m)}^s + \frac{\bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)}^s}{\Omega}) - \Omega \mathbf{K}^L (\bar{\mathbf{v}}_{(m)}^s - \frac{\bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)}^c}{\Omega}), \\ \bar{\mathbf{T}}_{(m)}^s &= -\frac{\tilde{\mathbf{c}}_{(m)}^P}{\Omega} \bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)}^c - \mathbf{k}^P \bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)}^s = -\mathbf{C}^L (\bar{\mathbf{v}}_{(m)}^s - \frac{\bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)}^c}{\Omega}) + \Omega \mathbf{K}^L (\bar{\mathbf{v}}_{(m)}^c + \frac{\bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)}^c}{\Omega}), \end{aligned} \quad (13)$$

где $\bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)}^{c(s)} = \left\| \begin{matrix} V_{\text{ст}(m)1}^{c(s)} \\ V_{\text{ст}(m)2}^{c(s)} \end{matrix} \right\|^T$ – гармонические составляющие вектора виброскорости стойки, $\bar{\mathbf{v}}_{(m)}^{c(s)} = \left\| \begin{matrix} v_{(m)1}^{c(s)} \\ v_{(m)2}^{c(s)} \end{matrix} \right\|^T$ – гармонические составляющие вектора перемещений вала.

Перепишем соотношения (13) в компонентной форме ($\alpha = 1, 2$):

$$\frac{\tilde{\mathbf{c}}_{(m)}^P}{\Omega} V_{\text{ст}(m)\alpha}^s - \mathbf{k}_{(m)}^P V_{\text{ст}(m)\alpha}^c = T_{(m)\alpha}^c, \quad -\frac{\tilde{\mathbf{c}}_{(m)}^P}{\Omega} V_{\text{ст}(m)\alpha}^c - \mathbf{k}_{(m)}^P V_{\text{ст}(m)\alpha}^s = T_{(m)\alpha}^s,$$

которая после перегруппировки слагаемых представляется в следующем матричном виде:

$$\mathbf{N}_{(m)} \mathbf{V}_{(m)} = \mathbf{T}_{(m)1}, \quad \mathbf{U}_{(m)} \mathbf{X}_{(m)} = \mathbf{T}_{(m)2}, \quad (14)$$

где обозначено: $\mathbf{V}_{(m)} = \left\| \begin{matrix} V_{\text{ст}(m)1}^c \\ V_{\text{ст}(m)1}^s \end{matrix} \right\|$, $\mathbf{X}_{(m)} = \left\| \begin{matrix} \tilde{\mathbf{c}}_{(m)}^P \\ \mathbf{k}_{(m)}^P \end{matrix} \right\|$, $\mathbf{T}_{(m)\alpha} = \left\| \begin{matrix} T_{(m)\alpha}^c \\ T_{(m)\alpha}^s \end{matrix} \right\|$,

$$\mathbf{N}_{(m)} = \left\| \begin{matrix} -\mathbf{k}_{(m)}^P & \frac{\tilde{\mathbf{c}}_{(m)}^P}{\Omega} \\ -\frac{\tilde{\mathbf{c}}_{(m)}^P}{\Omega} & -\mathbf{k}_{(m)}^P \end{matrix} \right\|, \quad \mathbf{U}_{(m)} = \left\| \begin{matrix} \frac{V_{\text{ст}(m)2}^s}{\Omega} & -V_{\text{ст}(m)2}^c \\ -\frac{V_{\text{ст}(m)2}^c}{\Omega} & -V_{\text{ст}(m)2}^s \end{matrix} \right\|.$$

Соотношения (14) позволяют, используя экспериментальные данные, сформировать систему уравнений для определения неизвестных коэффициентов $\tilde{\mathbf{c}}_p$, \mathbf{k}_p и являются основой для их идентификации. Итерационный алгоритм этой идентификации следующий:

1. По 2-м замерам виброскоростей стоек, соответствующих исходному пуску и пуску с известным дополнительным дисбалансом D , вычисляют гармонические составляющие дополнительных виброскоростей стоек $V_{\text{ст}(m)2}^{c(\text{exp})}$, $V_{\text{ст}(m)2}^{s(\text{exp})}$, вызванных этим дисбалансом.

Формируют начальное приближение гармонических составляющих векторов виброскорости стойки $\bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)(0)}^{c(s)} = \left\| \begin{matrix} V_{\text{ст}(m)1(0)}^{c(s)} \\ V_{\text{ст}(m)2}^{c(s)(\text{exp})} \end{matrix} \right\|^T$ и вектора $\mathbf{X}_{(m)}^{(0)}$ ($|\mathbf{X}_{(m)}^{(0)}| \neq 0$).

2. На n -ой итерации ($n \geq 1$), используя математическую модель ротора на упруго-демпферных подшипниках (смазочных слоях), решают задачу вынужденных колебаний с «виброскоростями» стоек $\bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)(n-1)}^{c(s)} = \left\| \begin{matrix} V_{\text{ст}(m)1(n-1)}^{c(s)} \\ V_{\text{ст}(m)2}^{c(s)(\text{exp})} \end{matrix} \right\|^T$ и дисбалансом D . В результате расчетов определяют гармонические составляющие опорных реакций $T_{(m)\alpha}^{c(n)}$, $T_{(m)\alpha}^{s(n)}$.

3. С помощью (14) вычисляют векторы $\mathbf{X}_{(m)}^{(n)}$ и $\mathbf{V}_{(m)}^{(n)}$ по формулам

$$\mathbf{X}_{(m)}^{(n)} = \left(\mathbf{U}_{(m)}^{(\text{exp})} \right)^{-1} \mathbf{T}_{(m)2}^{(n)}, \quad \mathbf{V}_{(m)}^{(n)} = \left(\mathbf{N}_{(m)}^{(n)} \right)^{-1} \mathbf{T}_{(m)1}^{(n)}.$$

4. Проверяют выполнение условия $\frac{|\mathbf{X}_{(m)}^{(n)} - \mathbf{X}_{(m)}^{(n-1)}|}{|\mathbf{X}_{(m)}^{(n-1)}|} \leq \varepsilon$, где ε – заданная

малая величина.

В случае выполнения условия п. 4 итерационный процесс прекращается. В противном случае формируют $\bar{\mathbf{V}}_{\text{ст}(m)(n)}^{c(s)} = \left\| \begin{matrix} V_{\text{ст}(m)1(n)}^{c(s)} \\ V_{\text{ст}(m)2}^{c(s)(\text{exp})} \end{matrix} \right\|^T$ и переходят к п.2. Далее с помощью формул (11) вычисляют матрицы динамических коэффициентов жесткости и демпфирования всей опоры в целом.

Список литературы

1. Сидоров И.Н., Савинов В.И., Семенова В.В. Теоретико-экспериментальный метод определения динамических характеристик стоек опор валопровода. – Казань: Казан. гос. тех. ун т., 2009. – 38с. Статья депонированная ВИНТИ, 08.07.09 № 456-В2009.
2. Сидоров И.Н., Савинов В.И., Семенова В.В. Математические модели, методы и программные средства для анализа поперечных колебаний роторных систем // Энергетика Татарстана. – 2012. – № 1(25). – С. 37-40.

05.12.04

¹Р.А. Сизякин, ¹В.В. Воронин, ¹В.И. Марчук, ¹С.Р. Ибадов, ¹Р.Р. Ибадов, И.С. ²Свирин

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет»,
voronin_sl@mail.ru,
²ЗАО «Нордавинд»

ОБНАРУЖЕНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ДЕФЕКТОВ НА ФОТОГРАФИЯХ НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНЫХ БИНАРНЫХ ШАБЛОНОВ

В статье рассмотрен метод детектирования искажений на архивных фотодокументах с помощью текстурного анализа на основе локальных бинарных окрестностей. Предлагаемый подход состоит из следующих этапов: предварительная обработка, обнаружение царапин и их реконструкция. Предварительная обработка используется для уменьшения влияния шума и небольших дефектов на изображении. Для распознавания класса дефектов используется метод опорных векторов. Показана эффективность нового подхода на нескольких примерах при обнаружении дефектов.

Ключевые слова: реконструкция, локальные бинарные шаблоны, обнаружение дефектов, изображения.

В настоящее время в домашних коллекциях имеется большое количество архивных фотографий и фото документов. Большинство из этих документов существуют только в единственном экземпляре. На некоторых из них могут присутствовать дефекты в результате неправильного хранения или физического повреждения (трещины, пятна, царапины и т.д.). Путем оцифровывания данных изображений можно не только надежно сохранить, но и улучшить их визуальное качество с использованием передовых технологий обработки изображений.

Решение задачи автоматического распознавания дефектов на изображениях имеет широкое применение на практике. Автоматическое обнаружение встречается в задаче поиска дефектов на дорожном покрытии, в текстильной промышленности, а также виртуальной реставрации архивных фото изображений.

Цифровое восстановление поврежденных фотографий состоит из этапа обнаружения повреждений и их устранения. В большинстве случаев этот процесс осуществляется путем ручной обработки, который требует определенных навыков и времени [1]. Существует также полуавтоматический способ удаления дефектов [2], при этом для восстановления поврежденного изображения пользователю необходимо выделить предполагаемые дефекты для последующей реконструкции в автоматическом режиме [3].

Целью данной работы является уменьшение погрешности восстановления изображений на основе обнаружения и реконструкции дефектов на фотографиях.

Изображение рассматривается как упрощенная математическая модель, которая представляет собой двумерную дискретную последовательность $Y_{i,j}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$, вида:

$$Y_{i,j} = (1 - d_{i,j}) \cdot S_{i,j} + d_{i,j} \cdot C_{i,j},$$

где $Y_{i,j}$ - наблюдаемое изображение, $S_{i,j}$ - оригинальное (неповрежденное) изображение, $d_{i,j}$ - бинарная маска дефектов, которая показывает, какой именно участок на изображении поврежден, $C_{i,j}$ значения яркости дефектов.

На рисунке 1 приведена блок-схема предлагаемого алгоритма обнаружения дефектов на изображении в автоматическом режиме. Алгоритм состоит из трех этапов: предварительная обработка, обнаружение дефектов с использованием локальных бинарных дескрипторов и их реконструкция.

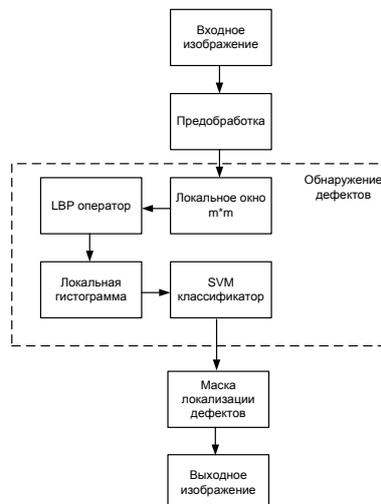


Рис. 1 - Блок-схема предложенного алгоритма

Предварительная обработка является важным шагом при обнаружении дефектов, предназначенная для подавления шумовой составляющей, а также устранения не больших дефектов. В данной работе используется алгоритм фильтрации BM3D [4].

Для обнаружения царапин используются локальные бинарные шаблоны (LBP) [5] в качестве текстурного дескриптора для локальных областей на изображении. С помощью метода опорных векторов (SVM), все фрагменты изображения классифицируются на два типа - область с дефектом и область без дефекта.

Оригинальный оператор LBP рассчитывается путем сравнения каждого пикселя вокруг центрального пикселя с центральным пикселем, принятым за пороговое значение, в локальной области размером 3 на 3 пикселя. В работе [5], предлагается модификация метода LBP, которая заключается в увеличении радиуса пикселей, которые сравниваются с центральным пикселем. Также выделены 9 однородных окрестностей, которые несут наибольшую информативность о текстурных особенностях изображения (рис.2), а также позволяют сократить количество мало информативных бинов. Каждая из 9 однородных окрестностей соответствуют своей текстурной особенности изображения, таких как ребра, углы и пятна.

Модифицированный LBP оператор может быть записан следующим образом:

$$LBP_{P,K} = \begin{cases} \sum_{p=1}^P f(g_p - g_0) & \text{if } U \leq U_T \\ P+1 & \text{otherwise} \end{cases}, f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

где P число соседей; K радиус; U число переходов между 1 и 0; U_T пороговое значение на количество переходов.

Таким образом, формируется гистограмма для локальной области, представляющая собой дескриптор анализа локальных областей в изображении на наличие дефектов.

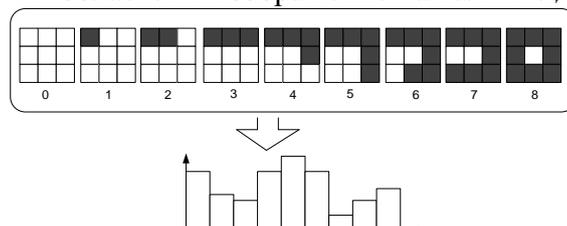


Рис. 2 – Построение гистограммы для однородного LBP

Для классификации и соотнесения каждого пикселя к классу дефектов или к классу объектов используется метод опорных векторов (SVM) в котором выделяют два этапа: этап обучения и этап распознавания. На первом этапе из множества обучающих примеров отбираются опорные векторы, на основе которых строится разделяющая плоскость. Этап распознавания заключается в том, что на вход полученного классификатора подается пример X , о классовой принадлежности которого ничего не известно. Классификатор позволяет определить к какому классу относится вектор X . Следует отметить, что метод SVM может применяться как для линейно разделимых образов, так и для линейно неразделимых. В данной работе для построения разделяющей гиперплоскости используется радиальная функция:

$$k(x, x') = \exp(-\gamma \|x - x'\|^2) \text{ при } \gamma > 0,$$

где x – текущий вектор, x' – центральный вектор, γ – нормализующий параметр.

Для обучения SVM классификатора используются 500 изображений дефектов и 500 изображений без дефектов размером 20 на 20 пикселей.

Для реконструкции поврежденных областей предлагается использовать метод восстановления пикселей изображений, разработанный в работе [6], который основан на поиске похожих блоков и восстановлении структуры изображения.

На рисунках 3-4 представлены результаты обработки предложенным методом.

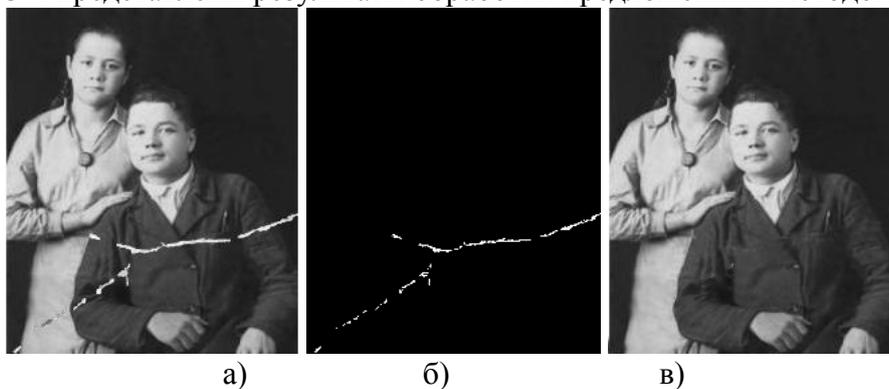


Рис. 3 – Пример обработки тестового изображения

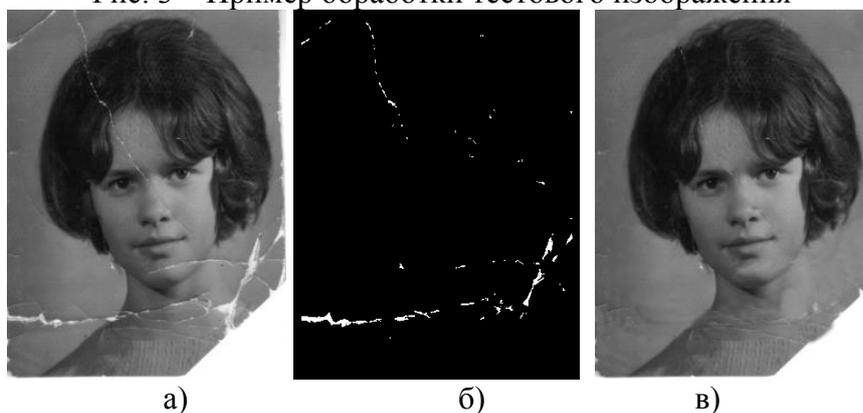


Рис. 4 – Пример обработки тестового изображения

Приведенные экспериментальные результаты показывают, что наиболее явные царапины на изображении корректно обнаружены, даже при сложных структурных и текстурных особенностях изображений. Предварительная обработка шумоподавления помогает уменьшить шумовую составляющую, а также устранить небольшие дефекты.

В заключении можно сделать следующие выводы.

В работе представлен автоматизированный алгоритм выделения дефектов на основе модифицированного оператора локальных бинарных окрестностей. Для классификации дескрипторов и разделения на классы использован метод опорных векторов. Примеры, представленные в работе, демонстрируют эффективность алгоритма при обнаружении царапин на сложно текстурных изображениях.

Список литературы

1. *Barni M., Bartolini F., Cappellini V.* Image processing for virtual restoration of artworks. *IEEE Multimedia*, vol. 7, no. 2, pp. 34-37, 2000.
2. <http://www.image-restore.co.uk/>
3. *Qingquan L.I., Xianglong LIU.* Novel Approach to Pavement Image Segmentation Based on Neighboring Difference Histogram Method. *Congress on Image and Signal Processing*, pp. 78-85, 2008.
4. *Dabov K., Foi A., Katkovnik V., Egiazarian K.* Image denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering. *Image Processing, IEEE Transactions on* 16 (8), pp. 2080-2095, 2007.
5. *Ojala T., Pietikainen M., Maenpaa T.* Multiresolution Gray-Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 24, no. 7, 2002.
6. *Воронин В.В., Марчук В.И., Гапон Н.В., Сизякин Р.А.* Использование метода реконструкции двумерных сигналов при восстановлении архивных фотографий// *Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника*, № 9, С. 16-20, 2011.

05.22.08

А.Д. Сиразетдинова, В.С. Кравцов

Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВПО ИрГУПС,
Красноярск, кафедра «Эксплуатация железных дорог»,
alfia_alka@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ В СИСТЕМЕ УЧЕТА ВАГОНОВ С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ В ПУНКТАХ ПОГРУЗКИ

В статье предлагается внести временные признаки на вагоны в целях сокращения нерациональных организационных и маневровых операций, отражающие техническое состояние вагонов. Данные мероприятия позволят дистанционно более точно определять возможность погрузки требуемого груза в вагоны, предоставляемые операторами подвижного состава.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, вагоны, разметка, собственники подвижного состава.*

Анализ времени нахождения вагонов в пунктах погрузки выявил, что до 40% времени приходится на операции, предшествующие погрузке, а именно: осмотр вагонов в техническом и коммерческом отношениях, исправление технических неполадок вагонов, подготовка вагонов к погрузке. При этом в среднем 22% вагонов, поданных под погрузку, были возвращены порожними по отсутствию коммерческой годности вагона.

Магистральный железнодорожный транспорт в настоящее время функционирует в условиях определенного парадокса - с одной стороны, значительного количества собственников подвижного состава, с другой - данные собственники продолжительное время не могут физически видеть собственного вагона. Информирование собственника подвижного состава о его техническом состоянии происходит опосредованно по результатам технического осмотра или произведенного ремонта работниками ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») или ремонтными организациями.

Общая регистрация вагонов происходит в базе данных ОАО «РЖД» после представления установленного пакета документов. Текущее состояние вагонов в момент «здесь и сейчас» известно только работникам ПТО станции последнего осмотра вагонов. Процедура «заказа» вагонов может происходить двумя способами:

- грузоотправитель договаривается с собственником подвижного состава на определенную модель или тип вагонов, собственник подвижного состава направляет к грузоотправителю ближайшего по месту расположения вагоны, подходящие по двум критериям: тип вагона и модель вагона, техническое состояние которых работниками РЖД оценивается, как годное;

- грузоотправитель делает запрос на станцию примыкания о необходимых вагонах ответственному по станции (в зависимости от организационной структуры), перенаправляет запрос диспетчеру по распределению вагонного парка и тот, в свою очередь, переадресует вагон под погрузку.

В существующей системе есть два аспекта, которые существенно снижают эффективность данного процесса:

1) В системе осмотра вагонов, который регламентируется инструкцией ЦВ-ЦЛ №408, существует перечень проверяемых узлов и агрегатов, их состояние и процедура проведения 12-ступенчатого осмотра, при этом четкая классификация признаков, согласно которым можно отнести вагон к принятым типам разметки, нигде не указана. Таким образом, четких критериев, определяющих однозначную годность так же не существует. А расшифрованная годность регламентируется принятой на конкретном ПТО разметкой. Разметка различна у каждого структурного подразделения, что влечет за собой неверность толкования.

Примером может служить разметка «Дальний Восток». На большинстве дорог данная разметка относится к вагонам, толщина гребня которых более 26 мм, остаточный пробег вагонов превышает расстояние до станции Дальневосточной железной дороги минимум в 2 раза с целью возвращения вагонов до следующего отцепочного ремонта на станцию приписки. Во-первых, на Дальневосточной железной дороге такая разметка отсутствует по причинам здравого смысла, её заменяет разметка «На запад». Во-вторых, расстояние от каждой конкретной станции до станций Дальневосточной железной дороги разное и остаточный пробег при расчёте тоже разный.

2) Текущее состояние вагона, как отмечалось ранее, известно только осмотрщикам последнего ПТО. Речь не идёт о неисправности согласно инструкции ЦВ-ЦЛ №408 они, как угрожающие безопасности движения поездов, сразу приводят к отцепке вагона и к текущему ремонту. В данном случае рассматриваются такие неисправности, актуальные для грузоотправителя, как пробоины в обшивке кузова или пола вагона, которые могут не угрожать безопасности движения, но приводить к невозможности погрузки отдельных видов грузов.

Примером данного несоответствия может служить статистическая информация об отбраковке до 40% порожних вагонов, имеющих разметку «Годен под погрузку», на крупных путях необщего пользования по следующим причинам (используемая терминология приводится по результатам обработки актов о непригодности вагонов в коммерческом отношении):

- вагоны «узкие», «широкие», «короткие», «длинные» или вагоны - вагоны одной модели, как показала практика, могут иметь расхождения по внутренним размерам кузова и при погрузке определенных типов грузов (например, металлических рам под перевозку листовой стали) данное расхождение может быть критичным;

- вагоны «с косынкой» - у данных вагонов для сохранения геометрии кузова в процессе постройки или при деповском ремонте вдоль бортов вагонов приварена металлическая косынка, которая не критична для сыпучих грузов, но при погрузке тарно-штучных грузов создает зазор между полом вагона и грузом, что может привести к несохранной перевозке;

- вагоны «со стяжкой» - у данных вагонов, для сохранения геометрии кузова в процессе эксплуатации или при деповском ремонте, борта полувагона соединены металлическим прутом или металлической полосой, что делает невозможной погрузку крупных тарно-штучных грузов;

- вагоны, имеющие значительные пробоины в полу вагона – наиболее часто встречающаяся неисправность вагонов при осмотре вагонов под широкую номенклатуру грузов. Данная неисправность не угрожает безопасности движения, однако делает невозможным погрузку мелкокусковых сыпучих грузов.

Во всех вышеперечисленных случаях грузоотправитель встает перед выбором проведения дополнительного перечня работ или отказа от погрузки в данный вагон.

При заказе вагонов в любом из вариантов ни грузоотправитель, ни собственник подвижного состава не может знать о таких нюансах и дистанционно определить пригодность вагона под перевозку не представляется возможным. Следствием нехватки данной информации является порожний перепробег вагонов, снижение пропускной способности станций и устройств путей общего и необщего пользования, оплата тарифа за порожний пробег по путям общего пользования и, в ряде случаев, оплата собственнику подвижного состава за просрочку доставки порожних вагонов к месту погрузки. Выходом из сложившейся ситуации можно предложить систему временных признаков для вагонов, которые бы позволяли фиксировать изменения в техническом состоянии, отражающие информацию для грузоотправителя. Данные признаки можно было бы вносить по результатам технических осмотров вагонов и убирать в случае ликвидации данных признаков (пример – ремонт пола вагона) в момент деповского ремонта либо наоборот добавлять (как в случае с ребрами жесткости и стяжками). Сложность внедрения данной системы заключается в разности интересов, а именно, сокращение поданных, но не

погруженных вагонов на грузовых фронтах это в первую очередь интерес грузоотправителя, вместе с тем трудовые затраты на внесение временных признаков о состоянии вагонов отнесутся на работников Центральной дирекции инфраструктуры - филиала ОАО «РЖД». Соотношение затрат на внесение дополнительных данных и сокращение расходов от подачи вагонов, которые в последствии не были погружены и увеличение пропускной способности за счет сокращения нерациональных перевозок сложно определяемы.

Унификация разметки по филиалам ОАО «РЖД» так же возможна, хотя и потребует значительных координационных мероприятий со стороны Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД». В процессе работы над материалом производился опрос работников ПТО по 6 филиалам ОАО «РЖД» - Дальневосточной, Красноярской, Южно-Уральской, Октябрьской, Западно-Сибирской и Северо-Кавказкой железных дорог. Разнообразие разметок встречается в основном на станциях, примыкающих к крупным путям необщего пользования и имеющих широкую номенклатуру грузов. На большинстве ПТО встречается 4 типа разметки: наиболее часто встречаемая «Годен», «Китай» - для вагонов, следующих с грузом на территорию Китая, «СНГ» - возможна погрузка грузов по территории стран СНГ и «Дальний Восток». За основу унифицированной разметки можно взять разметку, частично встречаемую на Южно-Уральской железной дороге - филиале ОАО «РЖД»:

- **РД** – Россия длинномер – возможна погрузка грузов по территории России тарно-штучных и длинномерных грузов исключается возможность погрузки сыпучих грузов без дополнительных мероприятий.

- **РС** – Россия сыпучие – возможна погрузка сыпучих грузов и прочих по территории России.

- По аналогии с вышеуказанным разделением предлагается разметка **СНГС, ДВС, СНГД, ДВД** (по территории стран СНГ и направлением на Дальний Восток).

- **КитайЗаб, КитайГор** – для погрузки грузов с последующим отправлением на железнодорожные пограничные перевалочные переходы Забайкальск—Маньчжурияный и Гродеково-Суйфэньхэ с подразделением на сыпучие и тарно-штучные грузы.

Представленные разметки после утверждения их нормативными документами ОАО «РЖД» могут более полно охарактеризовать возможности погрузки грузов в вагоны и, в комплексе с временными признаками, приведут к сокращению порожнего перепробега вагонов, повышению перерабатывающей способности погрузочных фронтов, увеличению пропускной способности железнодорожных линий.

Список источников

1. Инструкция по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации (инструкция осмотрщику вагонов) (с изменениями и дополнениями по состоянию на 20.11.2013 г.) ЦВ-ЦЛ-408.
2. <http://chinalogist.ru/book/articles/obzory/pogranperekhody-rossiya-kitay> дата обращения 27.08.2014г.

05.22.08

А.Д. Сиразетдинова, М.В. Фуфачева

Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВПО ИрГУПС, кафедра «Эксплуатация железных дорог», Красноярск, Sirazetdinova_AD@krsk.irgups.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ РАБОТНИКОВ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ КРАСНОЯРСКОГО ФИЛИАЛА ОАО «РЖД»

В статье рассматриваются особенности проведения занятий в Центре дополнительного профессионального образования КрИЖТ ИрГУПС по вопросам Системы менеджмента безопасности движения для работников структурных подразделений Красноярского филиала ОАО «РЖД». Раскрывается методика проведения занятий, сложности и наработки при разноплановых группах и методы повышения эффективности проведения занятий и управления техническими аудитами в структурных подразделениях.

Ключевые слова: *курсанты, группа, методы, система, менеджмент, управление, безопасность движения, восприятие.*

В тенденции последних лет в работе железнодорожного транспорта назревает необходимость более пристального внимания к вопросам увеличения уровня безопасности при производстве работ и осуществлении перевозок. С данной целью происходит обучение персонала структурных подразделений правилам внедрения и формирования на линейных предприятиях Системы менеджмента безопасности движения (СМБД) [1].

Особенности преподавания СМБД для работников структурных подразделений Красноярского филиала ОАО «РЖД»:

1. Схема обучения, разработанная нами, сводится к пяти основным моментам: весь теоретический материал выдается дистанционно в первую неделю обучения. К дистанционному курсу курсанты могут обратиться и после прохождения обучения. Его структура разработана с учетом разности уровней подготовки, большой служебной занятости и позволяет очень просто получить доступ ко всем сопряженным нормативным документам;

2. Выдача теоретической части производится постепенно, обычно в первой половине дня, по мере усвоения группой предоставленной информации. Основной метод преподавания практической части – интерактивная форма, которая позволяет понять преподавателю степень восприятия новой информации, своевременно корректировать курс под особенности конкретно данной группы и заставляет задуматься курсантов об очевидных, во время служебной деятельности, действиях.

В ходе ведения групп обучения Красноярского филиала ОАО «РЖД» в ЦДПО КрИЖТ ИрГУПС отмечены следующие особенности:

- традиционно, согласно выделенному бюджету и очередности обучения персонала, комплектуются группы различных по специфике структурных подразделений;
- по той же причине внутри групп неравномерно распределяется должностной уровень;
- в ходе проведения занятий отмечены значительные различия в объеме теоретических и практических знаний у руководящих работников в области экономики. Отсутствие теоретической базы приводит к повышенному сопротивлению усвоения новой информации при привязке мер обеспечения безопасности движения к экономической целесообразности разрабатываемых мероприятий;
- при групповых обсуждениях четко прослеживается эффект «социальной лени». (Доказано, что при работе людей в группе коэффициент полезного действия каждого работника стремительно падает по мере увеличения членов группы. В психологии этот эффект получил название *social loafing* («эффект социальной лени»), или «эффект

Рингельмана» [2]). В частности, при проведении обсуждений причин невыполнения своих служебных обязанностей в полном объеме, в регламентированные сроки и с установленным объемом затрат, начинается сбор факторов некачественной работы смежных структур и причин, которые привели к данным последствиям.

- нередко проблемой группы становится неполное, как того требуют нормативные документы, освобождение работника от занимаемой должности для прохождения курса, особенно если место работы находится в пределах возможности добраться в течение 3 часов. В данном случае курсанты плохо концентрируют свое внимание, сложнее идет усвоение нового материала и отсутствует возможность изменить взгляд на ситуацию, посмотреть на привычные обязательные действия со стороны;

- затруднения возникают в формировании активного диалога, который не является часто используемым методом обсуждения различных ситуаций в процессе трудовой деятельности. Для успешного формирования активного диалога необходимо создавать среду, которая сложно формируется при большом разбеге в рангах курсантов и нередко, именно руководящим составом воспринимается, как отсутствие высококвалифицированных занятий. Данное мнение зачастую формируется руководителями по нескольким причинам – ввиду большой занятости и пропуске занятий по служебной необходимости, и, как следствие, «выпадение» из общей структуры курса. Дополнительными факторами можно отметить: неприемлемость проведения занятий в любой форме, отличной от пассивной, редкость проводимых занятий с использованием других методик преподавания. Это обусловлено устойчивыми стереотипами, приобретенными в учебных заведениях, что в комплексе со средним возрастом курсантов 40-45 лет формирует негативное мнение.

Для повышения эффективности проводимых занятий среди руководящего состава предлагается:

- установить 72 часовой режим очной работы для получения дополнительного времени на усвоение курсантами дополнительных знаний и проведения попутных тренингов;

- включить в программу курса специальный тренинг, позволяющий снизить эффект «социальной лени» и более четко обозначить роль и место каждого структурного подразделения в формировании корпоративной СМБД;

- ввести в практику формирование групп по принципу межструктурного взаимодействия с привлечением работников аппарата РБ по соответствующим службам для формирования единого понимания основ СМБД в рассматриваемой предметной области.

Предлагаемые мероприятия позволят повысить качество преподавания и эффективность применения преподаваемых методик в процессе трудовой деятельности, социальную мотивацию руководящего персонала структурных подразделений Красноярского филиала ОАО «РЖД».

Список источников

1. Распоряжение ОАО «РЖД» №1498р от 14.07.2013 «Об утверждении Руководства по созданию системы менеджмента безопасности движения в холдинге «РЖД».
2. Журнал «Персонал» <http://www.top-personal.ru/issue.html?2807> дата обращения 01.10.2014г.

05.19.05

Т.А. Смирнова

Московский государственный университет дизайна и технологии,
Технологический институт легкой промышленности,
кафедра художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи,
Москва, tamara-s@list.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ БОТИНОК ДЛЯ КАТАНИЯ НА РОЛИКОВЫХ КОНЬКАХ

В работе представлены результаты изучения потребительских предпочтений при выборе обуви для катания на роликовых коньках, выявлены наиболее проблемные участки, вызывающие травмирование мягких тканей и дискомфорт. Для повышения уровня комфорта и снижения риска травм усовершенствованы элементы конструкции ботинок для катания на роликовых коньках.

Ключевые слова: *роликовые коньки, повышение комфорта, разгружающая стелька.*

Производство спортивной обуви требует непрерывного совершенствования способов ее конструирования в соответствии с ростом требований к качеству, характерных для конкретных видов спорта [1].

Одним из приобретающих большую популярность в России направлений в спорте можно считать роллер-спорт. Роллер-спорт – общее название видов спорта, в которых спортсмены используют различные виды роликовых коньков. Катание на роликовых коньках является также способом проведения досуга и видом активного отдыха, положительно влияющего на здоровье и физическое развитие людей, им занимающихся. В связи с признанием роллер-спорта и ростом его популярности, появляется острая потребность в разработке рациональной внутренней формы и конструкции обуви, совершенствовании методик проектирования спортивной обуви. Широкое применение в спортивной обуви искусственных и синтетических материалов в сочетании с более жесткими условиями её эксплуатации вызвало необходимость проведения серьёзных исследований. Качество спортивной обуви определяется ее удобством в эксплуатации, а также способностью выполнять возложенные на нее функции, которые в конечном итоге оцениваются потребителем.

Производители со своей стороны предпринимают целенаправленные действия для стимулирования спроса на роликовые коньки, максимального удовлетворения запросов потребителей. Для того чтобы выявить потребности покупателей многие фирмы разрабатывают системы получения маркетинговой информации. Чтобы определить потребительские предпочтения к ботинкам для роликовых коньков нами, на основе опыта крупнейших производителей, была выбрана такая форма сбора информации – как анкетирование.

Одним из важнейших направлений в проведенном исследовании было определение комфортности ботинок для катания на роликовых коньках. В опросе приняло участие 30 человек, регулярно катающихся на роликовых коньках – собственных, либо взятых на прокат. Респонденты были опрошены по вопросу возникновения дискомфорта в различных отделах стопы во время и после катания.

В результате опроса было выявлено, что у 55% респондентов возникают болевые ощущения при катании на роликовых коньках. Данные, полученные в результате опроса, отражены в таблице «Ощущения дискомфорта во время и после катания на роликовых коньках».

Как видно, большая часть пользователей, не имеющих собственных роликовых коньков, испытывают болевые ощущения во время или после катания в голеностопном суставе, в частности – в области лодыжек (40% опрошенных).

Таблица – Ощущения дискомфорта во время и после катания на роликовых коньках

Варианты ответов	Частота ощущения дискомфорта, %
По подошвенной поверхности	-
По боковой поверхности стопы	-
Частичное онемение стопы	20
Сводит ноги	20
Поджимаются пальцы	20
В области голеностопного сустава, лодыжек	40
Затрудняюсь ответить	-
Другое	-

Опираясь на данные исследования, мы выделили задачу повышения комфорта в области лодыжек как первоочередную. И решили ее путем применения специально разработанных промежуточных деталей, поддерживающих лодыжку.

Уже на стадии проектирования колодки в ее форме нами были отражены области наружной и внутренней лодыжек. Далее, при проектировании конструкции верха ботинка роликовых коньков, детали для поддержания лодыжки строились на уровне наружной и внутренней лодыжек. Сначала были определены центры наружной и внутренней лодыжек в соответствии с методикой описанной И. И. Половниковым [2]. Из точки центра наружной лодыжки строим две окружности радиусом 30 мм и 15 мм, то же самое строим для центра внутренней лодыжки. Данные окружности будут задавать контуры проектируемых промежуточных деталей, поддерживающих лодыжки. Первый круг радиусом 30 мм – выкраивается из вспененного ЭВА, толщиной 3 мм. Его задача заключается в предохранении лодыжек от натирания и сдавливания жесткими деталями наружного каркаса. Круг меньшего радиуса, 15 мм – выполнен из вспененного латекса, именуемого также «*memory foam*» за его свойство легко запоминать форму, оказывающую на него давление. Данный круг необходим для создания необходимого пространства для выступающих частей дистальных эпифизов большой и малой берцовых костей, и снятия эффекта давления и последующего натирания. Схематично промежуточная деталь для поддержания лодыжек изображена на рисунке 1.

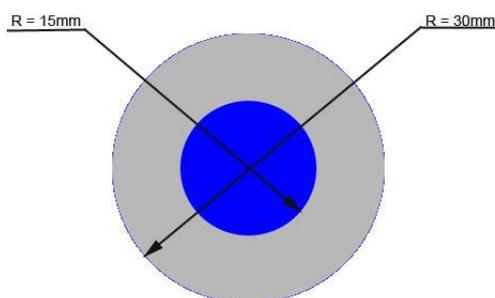


Рис. 1 – Схематичное изображение промежуточной детали для поддержания внутренней и наружной лодыжек

Данное конструктивное решение было использовано при изготовлении мягкого ботинка для катания на роликовых коньках. В ходе апробации было отмечено отсутствие болевых ощущений и дискомфорта в области лодыжек.

Далее для повышения уровня комфорта во время катания и предотвращения усталости нами была спроектирована разгружающая стелька. Опираясь на данные сечений спроектированной колодки, а также на данные гипсового слепка стопы, полученного в положении равномерной опоры на мягкое основание, нами была разработана разгружающая стелька. Благодаря анатомической форме стельки, при катании на роликовых коньках обеспечивается равномерное распределение давления по следу, что создает комфортные условия для катания и правильную установку стопы в роликовом ботинке, что существенно снижает риск травматизма и возможных деформаций стопы.

В настоящее время при производстве вкладных стелек широкое применение получили вспененные материалы, такие как пенополиэтилен и эвапласт, отличающиеся хорошими упруго-амортизационными свойствами, легкостью и невысокой стоимостью. Эти материалы отличаются высокой химической стойкостью, водостойкостью, потостойкостью, а изделия из них не оказывают вредного воздействия на организм.

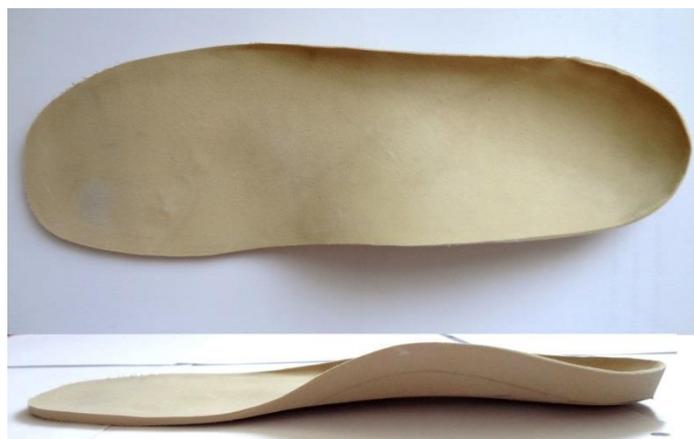


Рис. 2 – Опытный образец вкладной разгружающей стельки

Опытный образец вкладной разгружающей стельки (рис.2) был изготовлен из эвапласта. Технология изготовления – термоформование. Материалу, разогретому на термоактиваторе, была придана пространственная форма путем сжатия его в пресс-форме под давлением.

Экспериментальным путем были подобраны оптимальные режимы термоформования:

-время разогрева материала на термоактиваторе	1,5 мин.
-температура	120 градусов
-давление	20 атм.

Выполненное исследование в направлении совершенствования конструкции ботинок для катания на роликовых коньках призвано повысить обеспечиваемый при катании уровень комфорта и снизить риск травмирования стоп.

Список литературы

1. *Смирнова Т.А.* Проблемы конструкции роликовых коньков// тез. докл. Международной научно-практической конференции «Техническое регулирование: базовая основа качества товаров и услуг»/ Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса – Шахты, 2013
2. *Половников И.И., Фарниева О.В.* Проектирование спортивной обуви – Москва: Легкпромбытиздат, 1987. – 101 с.

05.13.19

Е.Н. Созинова 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, s.ekaterina-nik@mail.ru

ВЫЯВЛЕНИЕ РИСКОВ И ИХ АНАЛИЗ ПРИ ПОСТРОЕНИИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

В статье рассматривается анализ рисков, как один из важных элементов системы управления информационной безопасностью. Перечисляются основные этапы анализа рисков информационной безопасности. Даются определения таким понятиям, как: риск информационной безопасности, анализ рисков, оценка рисков.

Ключевые слова: *система управления информационной безопасностью, управление рисками, анализ рисков, оценка рисков.*

Построение эффективной системы управления информационной безопасностью (СУИБ) - это не разовый проект, а комплексный процесс. При разработке и внедрении СУИБ в организации, одной из основных проблем становится система управления рисками (СУР) информационной безопасности. СУР является базовым элементом СУИБ. Но, чтобы рисками информационной безопасности управлять, необходимо их выявить, проанализировать и оценить.

Риски информационной безопасности (ИБ) – это новый класс рисков, принципиально отличающийся от привычных финансовых, юридических и других рисков. Риск ИБ - это возможность того, что произойдет определенное неблагоприятное событие, связанное с реализацией некоторой угрозы, имеющее определенную вероятность наступления и приводящее к возможным потерям (ущербу) собственника или пользователя информации и поддерживающей инфраструктуры. Другими словами, риск – это потенциальная возможность использования уязвимости данной конкретной угрозой, с целью вызвать потерю или повреждение актива или группы активов, и, следовательно самой организации.

Анализ риска - это часть процесса менеджмента риска, позволяющая идентифицировать и категоризировать риски, которые должны контролироваться или приниматься. В контексте информационной безопасности анализ риска для организаций включает анализ характеристик организации, ценных активов, угроз и уязвимостей. Анализ риска заключается в моделировании картины наступления неблагоприятных условий посредством учета всех возможных факторов. Анализ может быть качественным и / или количественным.

Задача качественного анализа — это распределение факторов риска по группам. Существует несколько моделей качественного анализа. Все они достаточно просты. Варианты различаются лишь количеством градаций риска. Одна из самых распространенных моделей — трехступенчатая. Каждый фактор риска оценивается по шкале "низкий — средний — высокий". Некоторые специалисты считают, что трех ступеней для точного разделения рисков недостаточно и предлагают пятиуровневую модель. Однако это не принципиально, ведь, в целом любая модель анализа сводится к простейшему разделению угроз на критические и второстепенные. Трех-, пятиуровневые и прочие модели используются для наглядности. Эксперты в данной области считают, что качественный метод является весьма эффективным и простым инструментом анализа рисков.

Количественный анализ точнее, чем качественный. Он позволяет получить конкретные значения рисков, но отнимает заметно больше времени, что не всегда оправданно.

Количественный метод требует значительно больше времени, так как каждому фактору риска присваивается конкретное значение. Как правило, в большинстве случаев дополнительная точность не требуется или просто не стоит лишних усилий. Также следует учитывать, что многие организации постоянно развиваются, изменяются. И за то время, что выполняется анализ, фактические значения рисков окажутся другими. Какой именно проводить анализ: качественный или количественный – определяется экспертами в каждом случае отдельно.

Как правило, анализ рисков ИБ включает в себя выполнение следующих этапов:

- 1) Идентификация активов;
- 2) Оценивание ценности активов;
- 3) Анализ уязвимостей;
- 4) Анализ угроз и составление модели угроз ИБ;
- 5) Составление модели нарушителя;
- 6) Оценка вероятности реализации угроз;
- 7) Оценка ущерба организации, наносимого при реализации угроз и рисков.

Анализ рисков заключается в определении их качественных и количественных значений, ранжировании рисков, а также в формировании перечня рисков.

После того, как риски ИБ выявлены и проанализированы, проводится оценка и обработка рисков. Периодичность проведения оценки рисков нарушения ИБ, определяется организацией самостоятельно. Оценка риска информационной безопасности производится только для актуальных угроз.

Для оценки рисков ИБ, в зависимости от потребностей организации, может быть использована простая качественная шкала («допустимый», «недопустимый») или более подробная шкала (например, «критический», «высокий», «средний», «приемлемый») или даже количественная шкала, выраженная в процентах или денежной форме. Оценка рисков в денежной форме проводится с целью формирования резервов на возможные потери, связанные с инцидентами ИБ и определяется на основании количественных оценок.

По результатам оценки рисков необходимо определить способ обработки для каждого из рисков, который является недопустимым. Обработка риска информационной безопасности – это процесс выбора и осуществления защитных мер, снижающих риск ИБ, или мер по принятию или уходу от риска. Следует помнить, что любой деятельности свойственны риски и понизить их можно, лишь, до определенного остаточного уровня, а не до нуля. Возможными вариантами обработки рисков являются:

1. Уход от риска – это любые действия, при которых изменяются способы ведения бизнеса для того, чтобы избежать осуществления риска. Это избегание мероприятий, связанных с риском. Например: отказ от определенных бизнес-процессов; перемещение ресурсов из зоны риска; отказ от обработки определенной информации; отказ от незаконного вида деятельности.

2. Передача риска – это возложение ответственности за риски и потери на других. В основном это страхование и аутсорсинг. Например: заключение договора со страховой компанией и передача части ответственности ей.

3. Уменьшение риска – это сокращение вероятности и объема потерь. Это любые меры, которые способны снизить риск. Например: внедрение организационных и / или технических мероприятий, уменьшающих риск.

4. Кардинальное снижение риска – если риск имеет критический уровень и его невозможно в кратчайшие сроки снизить, принять или передать, то применяется кардинальное снижение риска. Это срочные мероприятия по снижению риска до допустимого, менее критичного уровня.

5. Принятие риска – принятие исходного или уменьшенного до приемлемой величины в результате мероприятий риска. Существуют ситуации или виды рисков, которые в определенный момент времени снизить не могут. В такой ситуации этот риск приходится принимать и быть готовым, что он может произойти и организация понесет потери.

Решение о применении того или иного способа обработки рисков должно приниматься исходя из стоимости их реализации, а также ожидаемых выгод от их реализации. Необходимо во-первых: добиться значительного уменьшения рисков при относительно низких затратах и, во-вторых: поддерживать принятые риски на допустимом, низком уровне. Руководствоваться при выборе защиты лучше принципом разумной достаточности. Меры безопасности не должны быть более затратными, чем потенциальный ущерб от нарушения ИБ.

Список литературы

1. *Астахов А.М.* Искусство управления информационными рисками. - ДМК Пресс, 2010. - 314 с.
2. *Буянов В.П., Курсанов К.А., Михайлов Л.А.* Рискология: Управление рисками - М.: Экзамен, 2002. - 382 с.
3. *Варфоломеев А.А.* Управление информационными рисками. Учебное пособие. - Москва, 2008.
4. *Воронцовский А.В.* Управление рисками: Учеб. пособие - СПб.: Изд-во -Петерб. ун-та, 2000. - 206 с.
5. *Симонов С.В.* Анализ рисков, управление рисками // Jet Info. - 2003. - №2.
6. *Созинова Е.Н.* Метод проведения внутреннего аудита информационной безопасности организаций на основе риск-ориентированного подхода / Е.Н. Созинова // В мире научных открытий. – 2013. - №10. - С. 11-24.
7. *Созинова Е.Н.* Универсальный метод оценки рисков в области информационной безопасности / Е.Н. Созинова // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. - СПб: НИУ ИТМО. – 2013. - Выпуск 1. – С. 174-175.
8. *Петренко С.А.* Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность. М: ДМК Пресс, 2004. — 384с.

05.13.05

А.В. Солнцева, С.А. Борминский

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева
(национальный исследовательский университет), радиотехнический факультет,
кафедра электротехники, Самара, als063@mail.ru

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЗАПОЛНЕНИЯ РЕЗЕРВУАРА НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ОТРАЖЕННОГО ОТ КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДЫ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА

В статье предлагается метод измерения уровня заполнения резервуара, основанный на импульсном зондировании контролируемой жидкой среды. Метод основывается на спектральной обработке информации о зондирующем и отраженном от жидкой среды акустических импульсах. Расчет уровня жидкости в емкости производится по разности между фазовыми составляющими спектральных плотностей зондирующего и отраженного импульсов.

Ключевые слова: *уровень, резервуар, акустический импульс, спектральная плотность, преобразование Фурье.*

Для широкого спектра предприятий важной и актуальной задачей является организация контроля уровня заполнения резервуаров различными видами товарных продуктов. Широкое применение в промышленности получили акустические измерения [1], достоинствами которых являются простота конструкций, надежность работы, высокая точность. Сигнал, отраженный от контролируемой среды, находящейся в полости резервуара, содержит в себе информацию о ее качественных и количественных показателях, в том числе уровне.

В [2] представлена совокупность математических выражений, определяющих общую математическую модель распространения импульсов в однородных стационарных средах. Предлагается осуществлять импульсное зондирование контролируемой среды посредством излучения акустических импульсов и фиксирование отраженных от контролируемой среды сигналов. Анализ спектральных характеристик зондирующих и отраженных от границ контролируемых импульсов позволит определить уровень налива продукта в резервуаре. Спектральная плотность отраженного сигнала, прошедшего расстояние $2H$, $S(2H, j\omega)$ определяется по выражению

$$S(2H, j\omega) = K(j\omega)S(0, j\omega)e^{-j2k_i(j\omega)H}, \quad (1)$$

где $K(j\omega)$ – коэффициент отражения, определяемый

$S(0, j\omega) = F[p(0, t)]$ – спектральная плотность зондирующего импульса,

$$k(j\omega) = \frac{\omega}{c} \left(1 - j \frac{b\omega}{2\rho c^2}\right) \quad (2)$$

- волновой вектор среды,

где c - фазовая скорость звука,

ρ - плотность среды,

$$b = \frac{4}{3}\eta + \zeta + \xi \frac{C_p - C_v}{C_p C_v} \quad (3)$$

- диссипативный коэффициент,

где η , ζ , ξ , C_p, C_v - динамическая вязкость, вторая вязкость и коэффициент теплопроводности среды, удельные теплоемкости среды в изобарном и изохорном процессах соответственно.

Коэффициент отражения определится как

$$K(j\omega) = \frac{z_{II}(j\omega) - z_I(j\omega)}{z_{II}(j\omega) + z_I(j\omega)}, \quad (4)$$

где

$$z_I = \frac{\rho_I^2 c_I^3}{\rho_I c_I^2 - j b_I \omega}, \quad z_{II} = \frac{\rho_{II}^2 c_{II}^3}{\rho_{II} c_{II}^2 - j b_{II} \omega} \quad (5)$$

z_I, z_{II} - акустические импедансы контактирующих сред,

$c_I, c_{II}, \rho_I, \rho_{II}, b_I, b_{II}$ - скорости звука, плотности и диссипативные коэффициенты контактирующих сред (I среда - среда распространения импульсов, II среда - отражающая среда).

Путем математических преобразований получаем, что уровень наполнения резервуара определится как:

$$H = j \frac{I}{2k_I(j\omega)} \ln \left(\frac{S(2H, j\omega)}{K(j\omega) \cdot S(0, j\omega)} \right). \quad (6)$$

Если не учитывать поглощение среды, тогда (6) преобразуется:

$$H = j \frac{c_I}{2\omega} \ln \left(\frac{c_{II} \rho_{II} + c_I \rho_I}{c_{II} \rho_{II} - c_I \rho_I} \cdot \frac{S(2H, j\omega)}{S(0, j\omega)} \right). \quad (7)$$

Несмотря на наличие в выражениях (6), (7) мнимой единицы j , важно отметить, что значение уровня является чисто вещественным. Спектральные плотности зондирующего и отраженного сигналов являются комплексными числами, при дальнейших расчетах будет показано, что мнимая единица сокращается.

Если рассматривать скорость звука как функцию плотности среды, уровень наполнения резервуара по выражению (7) зависит от плотностей контролируемых сред и спектральных плотностей зондирующего и отраженного сигналов. В таком случае (7) примет вид:

$$H = j \frac{f_1(\rho_I)}{2\omega} \ln \left(\frac{f_2(\rho_{II}) \rho_{II} + f_1(\rho_I) \rho_I}{f_2(\rho_{II}) \rho_{II} - f_1(\rho_I) \rho_I} \cdot \frac{S(2H, j\omega)}{S(0, j\omega)} \right). \quad (8)$$

Функции $f_1(\rho_I)$ и $f_2(\rho_{II})$ могут быть определены как полиномиальные зависимости и представлены общим выражением:

$$c = f(\rho) = \sum_0^n a_k \rho^k. \quad (9)$$

Если при расчетах учитывать поглощение сред, тогда выражение (6) преобразуется следующим образом:

$$H = j \frac{\rho_I (f_1(\rho_I))^2}{2\rho_I f_1(\rho_I) \omega - j b_I \omega} \ln \left(\frac{S(2H, j\omega)}{K(j\omega) \cdot S(0, j\omega)} \right), \quad (10)$$

где коэффициент отражения $K(j\omega)$ согласно (4), (5) определяется как

$$K(j\omega) = \frac{(\rho_{II}^2 c_{II}^3)(\rho_I c_I^2 - j b_I \omega) - (\rho_I^2 c_I^3)(\rho_{II} c_{II}^2 - j b_{II} \omega)}{(\rho_{II}^2 c_{II}^3)(\rho_I c_I^2 - j b_I \omega) + (\rho_I^2 c_I^3)(\rho_{II} c_{II}^2 - j b_{II} \omega)} \quad (11)$$

зависимости $c_I = f(\rho_I), c_{II} = f(\rho_{II})$ по (9), коэффициенты b_I, b_{II} - по (3).

Спектральные плотности $S(0, j\omega)$ и $S(2H, j\omega)$ являются комплексными числами и для дальнейшего анализа удобно с учетом формулы Эйлера представить их в показательной форме следующим образом:

$$S(0, j\omega) = A(0, \omega) e^{j\phi(0, \omega)}, \quad (12)$$

$$S(2H, j\omega) = A(2H, \omega) e^{j\phi(2H, \omega)}. \quad (13)$$

Выразив отношение спектральных плотностей $S(0, j\omega)$ и $S(2H, j\omega)$

из выражения (1) и (12), (13), получим выражения:

$$\frac{S(2H, j\omega)}{S(0, j\omega)} = K(j\omega)e^{-jk_1(j\omega)2H}, \quad (14)$$

$$\frac{S(2H, j\omega)}{S(0, j\omega)} = \frac{A(2H, \omega)e^{j\phi(2H, \omega)}}{A(0, \omega)e^{j\phi(0, \omega)}}. \quad (15)$$

Приравняв выражения (14) и (15), получим:

$$\frac{A(2H, \omega)}{A(0, \omega)} e^{j(\phi(2H, \omega) - \phi(0, \omega))} = |K(j\omega)| e^{-jk_1(j\omega)2H}. \quad (16)$$

При рассмотрении случая, не учитывающего поглощение среды I, в выражении (16) отношение модулей спектральных плотностей зондирующего и отраженного сигналов $\frac{A(2H, \omega)}{A(0, \omega)}$ и модуля коэффициента отражения $|K(j\omega)|$ определяют действительные части

спектральных плотностей, а показатели степени e - их мнимые части. Важно отметить, что вычисление отношения модулей спектральных плотностей и разницы фаз зондирующего и отраженного сигналов производится по данным осциллограмм, получаемых при проведении измерений.

Поскольку комплексные числа равны в том случае, если равны их действительные и мнимые части, получим:

$$\phi(2H, \omega) - \phi(0, \omega) = -k_1(j\omega)2H. \quad (17)$$

Данное выражение с учетом выражения (2), определяющего волновой вектор без учета поглощения среды, преобразуется в прямую зависимость уровня налива продукта от разницы фазовых составляющих спектральных плотностей зондирующего и отраженного импульсов:

$$H = \frac{c_1}{2\omega} (\phi(0, \omega) - \phi(2H, \omega)) = \frac{f_1(\rho_1)}{2\omega} \Delta\phi. \quad (18)$$

При учете поглощения сред коэффициент отражения $K(j\omega)$ в выражении (16) является комплексной величиной и определяется выражением (11), как и волновой вектор $k_1(j\omega)$, определяемый выражением (2). В результате получаем выражение для вычисления уровня заполнения резервуара с учетом диссипативных коэффициентов сред:

$$H = \frac{c_1}{2\omega} [\phi(0, \omega) - \phi(2H, \omega) + \arctg(\frac{2\rho_{II}^2 c_{II}^3 \rho_I^3 c_I^5 b_{II} \omega - 2\rho_{II}^3 c_{II}^5 \rho_I^2 c_I^3 b_I \omega}{\rho_{II}^4 c_{II}^6 \rho_I^2 c_I^4 + b_I^2 \omega^2 \rho_{II}^4 c_{II}^6 - \rho_I^4 c_I^6 \rho_{II}^2 c_{II}^4 - b_{II}^2 \omega^2 \rho_I^4 c_I^6})]. \quad (19)$$

На рис. 1 представлены графики рассчитанных зависимостей уровня наполнения резервуара от разницы фазовых составляющих спектральных характеристик зондирующего и отраженного от границы раздела сред пентан-бензол сигналов при учете поглощения сред для частот 80, 150, 350, 1000 Гц. Поскольку максимально измеренная разница фаз зондирующего и отраженного сигналов находится в интервале $[0, 2\pi]$, в силу периодичности гармонических функций дальнейший анализ на интервале $(2\pi, +\infty)$ не имеет смысла.

Из графиков на рисунке 1 видно, что чем меньше частота зондирующего сигнала, тем больше диапазон измеряемых уровней наполнения резервуара. Выражения (18), (19) создают математическую основу для создания метода контроля уровня заполнения резервуара по спектральным характеристикам зондирующего и отраженного акустических импульсов.

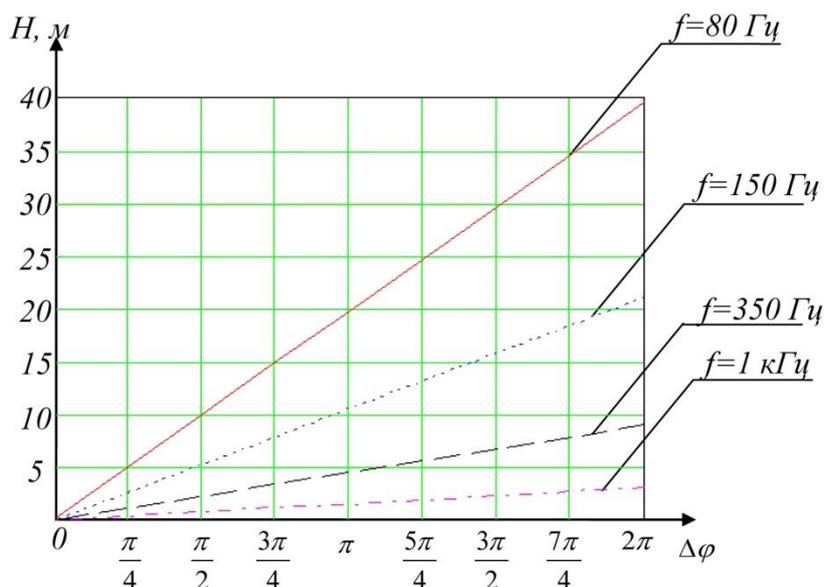


Рис. 1- График зависимости уровня заполнения резервуара от разности фазовых составляющих спектральных плотностей зондирующего и отраженного импульсов с учета поглощения сред

Это позволяет устранить недостаток времяимпульсного метода измерения, связанный с наличием мертвой зоны акустического датчика, что ограничивает его применимость на малых расстояниях. Достоинством предлагаемого метода является отсутствие необходимости полного успокоения зондирующего сигнала в акустическом канале для фиксирования отраженного от контролируемой среды сигнала.

Список литературы

1. Борминский С.А., Скворцов Б.В., Солнцева А.В. Методы измерений количественных и качественных характеристик жидких энергоносителей // Самара: АНО СНЦ РАН, 2012. - С.5-59.
2. Солнцева А.В. Математическое описание импульсных сигналов, отраженных от границы раздела сред // Тезисы докладов Международной молодежной научной конференции «XII Королевские чтения». - 2013. – С.136.

05.13.18

В.А. Столярчук

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
Москва, stolyarchukva609@mail.ru

ПОДСИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФРОНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

В работе представлено краткое описание модуля учебно-исследовательской программной системы, предназначенной для подготовки разработчиков CAD/CAE-систем, используемых авиационно-космической отрасли. Назначение модуля – триангуляция плоской области фронтальным методом с оценкой качества сетки. В процессе эксплуатации подсистемы получен большой методический опыт и накоплен определенный научный результат.

Ключевые слова: *CAD/CAE-система, метод конечных элементов, триангуляция, открытое программное обеспечение, фронтальный метод.*

Для обучения разработчиков CAD/CAE –систем аэрокосмической отрасли на каф. «Прикладной информатики» МАИ создана открытая учебная CAE Sigma [1], позволяющая наглядно изучить принципы построения и проблемы алгоритмизации конечно-элементных CAE –систем и служить учебным объектом разработки. При этом объектом, который можно модифицировать, редактировать, добавлять новые подсистемы и т.п.

С этой целью в CAE Sigma созданы своеобразные кластеры, предоставляющие собой достаточно удобную среду для реализации собственных разработок на основе какого-либо нового алгоритма. Примером такого кластера является препроцессор [2]. В препроцессоре формирование сетки конечных элементов проводится методом изопараметрических координат, фронтальным методом и несколькими методами Делоне. В силу универсальности препроцессора эти методы реализованы по упрощенным алгоритмам. Поэтому в CAE Sigma имеются модули, которые позволяют более глубоко изучить тот или иной метод триангуляции. Описанию одного из таких модулей – подсистемы Frontal Method, осуществляющего триангуляцию плоской области фронтальным методом, а также результатам, которые удалось получить при её использовании, посвящена эта работа. В разработке архитектуры системы принимала участие Рябинина В.Н. [3]. Она же программировала самые сложные и нестандартные части системы, связанные, в основном, с формированием и применением функций плотности.

Основные идеи фронтального метода изложены в [4]. Метод заключается в последовательном построении треугольной сетки внутри подобласти с учетом локальных свойств текущей границы. Стратегия формирования треугольных элементов может быть охарактеризована двумя способами: «выравнивание» - уменьшение текущей границы с образованием одного конечного элемента и «выемка» - построение нового узла текущей границы (рис. 1.) с образованием двух КЭ.

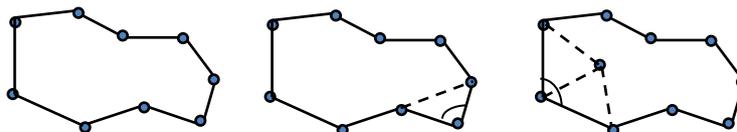


Рис. 1. Операции фронтального метода

Применение того или иного способа определяется путем проверки локальных свойств текущей границы в соответствии с рядом установленных критериев и действий, приведенных ниже в таблице.

Таблица - Критерии и действия для образования треугольников.

1	Угол на текущей границе, меньший 85-90°, срезается
2	Поиск минимального угла на текущей границе, большего 85-90°, деление его лучом в соответствии с длинами двух смежных линий, образующих данный угол, и образование на луче нового узла, согласно рис. 2а.
3	Поиск минимального угла на текущей границе, большего 85-90°, деление его лучом в соответствии с длинами четырех линий, образующих данный угол, и образование на луче нового узла, согласно рис. 2б.
4	Поиск минимального угла на текущей границе, большего 85-90°, деление его лучами в соответствии с длинами четырех линий, образующих данный угол, и образование на лучах нового узла, согласно рис. 2в.
5	Поиск минимального угла на текущей границе, большего 85-90°, деление его лучами в соответствии с длинами четырех линий, образующих данный угол, и образование на лучах нового узла, согласно рис. 2г.
6	Поиск минимального угла на текущей границе, большего 85-90°, деление его лучом пополам, длина которого определяется функцией плотности в данной области, и образование на луче нового узла, согласно рис. 2д.

Выравнивание текущей границы, согласно критерию 1 (см. таблицу), является обязательным (если только это возможно) для каждого этапа триангуляции. В результате его использования достигается выпуклость текущей границы.

Критерии 2-6 соответствуют способу «выемка» и определяют стратегию выбора локального участка текущей границы, где проводится построение нового узла (рис.2.). Эти критерии содержат логически обоснованные ограничения, накладываемые на углы α_1 и α_2 и величины R , a_1 , a_2 (рис. 2.). Здесь $F(x,y)$ – функция плотности.

Критерии 2-5 могут произвольно варьироваться и применяться в любых сочетаниях один с другим (хотя здесь необходима постоянная проверка). Триангуляция, происходящая без вырождения треугольных элементов, всегда заканчивается, ввиду обязательного исключения узла с прилегающим углом в 85-90° и менее.

Выбор конкретного критерия (совокупности критериев), характеризующего способ «выемка», определяется количеством узлов и элементов для соответствующей базовой подобласти, равномерностью и регулярностью сетки конечных элементов, необходимым изменением плотности элементов в заданных районах базовой подобласти.

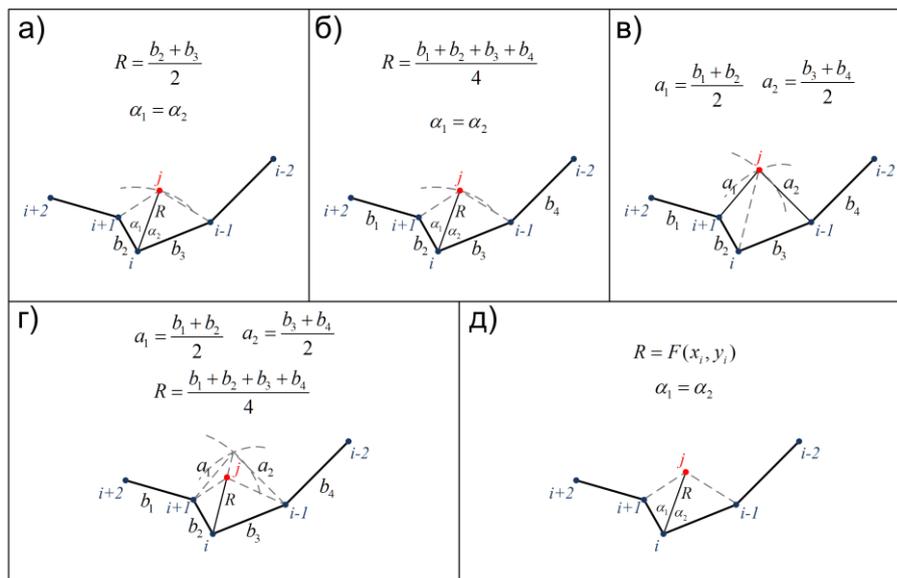


Рис. 2. Критерии построения нового узла текущей границы

Завершающей фазой работы алгоритма построения треугольной сетки внутри подобласти с учетом локальных свойств текущей границы является регуляризация сформированной сетки. Процедура регуляризации заключается в совмещении внутренних узлов базовой подобласти с центроидами многоугольников, составленных из треугольных элементов, окружающих внутренние узлы. Понятно, что для краткости при описании алгоритма опущены многие нюансы, значительно усложняющие его реализацию.

Взаимодействие программного модуля Frontal Method с системой Sigma и с любой подобной САЕ-системой осуществляется посредством подгрузки/выгрузки вспомогательных файлов.

Основное меню системы представлено на рис. 3. вместе с отображением сгенерированной сетки. Учитывая, что генерация новых узлов сетки может проводиться по-разному, подсистема предоставляет возможность настройки критериев построения сетки. При этом критерии и действия могут меняться вплоть до изменения величины углов.

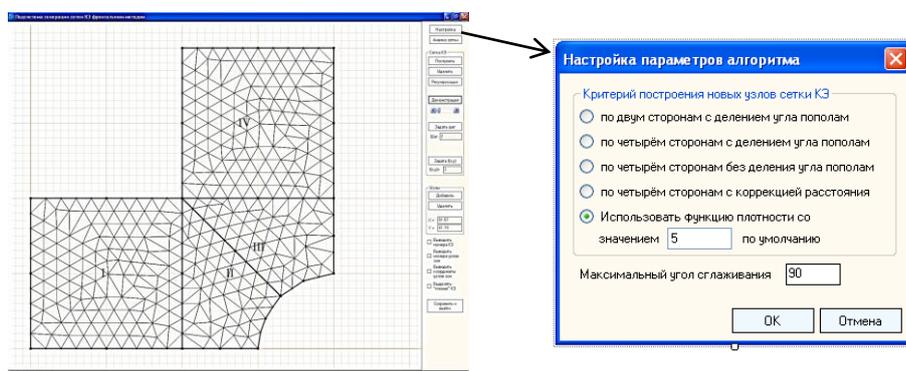


Рис. 3. Алгоритмы построения сетки и общий вид Frontal Method

В модуле Frontal Method реализованы следующие функции:

- разделение узлов на внутренние и граничные, граничных – на основные и промежуточные, добавление промежуточных граничных узлов вручную и в автоматизированном режиме с установленным шагом, редактирование положения отдельно выбранного узла;
- перерасчет сетки и привязка её к координатной сетке, автомасштабирование изображения и регуляризация сетки;
- отображение номеров элементов, зон, координат узлов и т.д.;
- замедленная демонстрация построения сетки;
- задание функции плотности $F(x,y)$ на рассчитываемом объекте. Функция плотности $F(x,y)$ задается в точках на пластине с указанием значения в каждой точке. Каждое значение функции плотности имеет заданный радиус действия. Первоначально задается базовое значение функции плотности, которое распространяется на те части пластины, где не задана функция плотности в виде точек. Для определения значения функции плотности в заданной точке на пластине учитываются все значения функции плотности, в радиусе действия которых находится рассматриваемая точка. Для каждого из них вычисляется весовой коэффициент, учитывающий удаленность от рассматриваемой точки; проведение статистическо-визуального анализа качества [3] полученной сетки (с заданием критерия качества) и отображением элементов пластины, нарушающих заданные критерии (рис. 4):

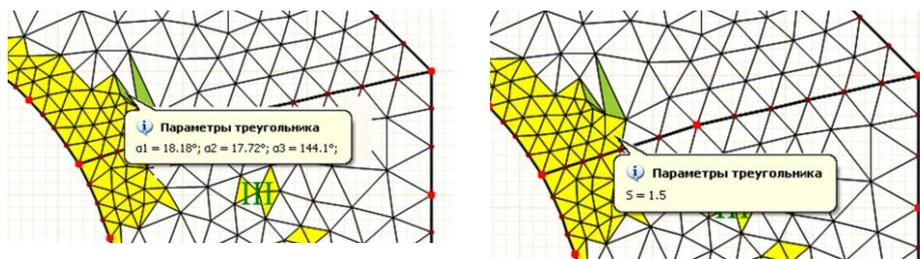


Рис. 4. Вывод информации о конечных элементах с нарушением заданных ограничений

Для анализа качества сетки предлагаются 2 основных параметра – значения углов и площадей КЭ. Перед процедурой указываются допустимые диапазоны изменения этих параметров, а по ее завершению выводится окно, содержащее информацию о количестве элементов в каждой зоне, нарушающих заданные критерии. Кроме того, нарушение критериев на самой пластине выделяются цветом (рис. 4).

Модуль Frontal Method насыщен дополнительными алгоритмами, служащими в основном ознакомительным и обучающим целям. Для этих целей реализован ряд функций, способствующих пониманию процессов триангуляции, визуальной оценки их действий и т.п. Модуль характеризует открытость исходных кодов, высокий уровень наглядности, простота и дружелюбность интерфейса. Такой подход позволяет наиболее эффективно увеличивать коэффициент производительности начинающих специалистов за счет осознания происходящих в системе процессов, упрощения и ускорения освоения более сложных САД/САЕ-систем.

Из вышеперечисленных особенностей следует, что разработанный модуль в основном ориентируется на учебные системы для ВУЗов. Но вместе с тем, в силу ряда реализованных функций (демонстрационный режим, визуальный контроль качества сетки, ручное формирование функции плотности) он будет также интересен НИИ. Кроме того, независимость как компонента и несложность встраивания дают ему широкие возможности для использования в коммерческих разработках практически любых машиностроительных и строительных организаций для предварительных расчетов, решения несложных задач, поиска оптимального решения.

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. Рябинина В.Н. Создание программного обеспечения для определения качества сетки. // Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции молодых ученых и студентов "Информационные технологии в авиационной и космической технике-2008", Москва, МАИ, 2008.
4. Бабич Ю.Н., Цыбенко А.С. Методы и алгоритмы автоматического формирования сетки треугольных элементов. // Киев, ИПП УССР, 1978-93с.

05.13.01

С.А. Федосин к.т.н., С.А. Ямашкин

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет»,
факультет электронной техники, кафедра АСОИУ,
fedosinsa@mrsu.ru, yamashkinsa@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА БАЗЕ ДАННЫХ ДЗЗ

В статье предложена модель технологического процесса решения задачи моделирования структуры землепользования на базе данных ДЗЗ, включающая этапы определения проблемной ситуации, формирования исходных данных, генерации и анализа выходных данных и использование полученного результата.

Ключевые слова: *моделирование, системный подход, землепользование, данные дистанционного зондирования, извлечение данных.*

Современная концепция проведения исследований в области природопользования основывается на обработке и анализе больших объемов разнородных данных и информации, особое место среди которых имеют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Задача моделирования структуры землепользования на базе данных ДЗЗ характеризуется следующими важными свойствами:

- несмотря на наличие схожих черт в формулировке задач моделирования структуры землепользования, каждая из них требует индивидуального подхода и осознанного выбора применяемых методик;
- данные дистанционного зондирования Земли разнообразны, сложны и неоднородны, что делает невозможным применение универсального и строго определенного набора алгоритмов для их анализа;
- структура конечного результата моделирования в высокой степени зависит от поставленных задач и ее определение не является тривиальной задачей;
- сложность исходных данных и высокая субъективность получаемых данных определяют необходимость формирования критериев оценки результатов моделирования;
- немаловажным моментом, определяющим доступность и итоговую полезность результатов исследований, является вопрос публикации и распространения геоданных.

Анализ обозначенных свойств и многоэтапности характера технологического процесса анализа данных дистанционного зондирования Земли с использованием методов математического моделирования для выработки практических рекомендаций позволил, применяя системный подход, описать данный технологический процесс как набор разнородных связанных компонентов.

Важность этапа «**Определения проблемной ситуации**» обусловлена тем фактом, что, сколько бы общего ни было в применении различных методов математического моделирования для анализа данных ДЗЗ, выбор необходимых *исходных данных, формы и характеристик желаемого результата* возможен только после того, как будет грамотно и однозначно поставлена цель исследования и *произведен сбор и анализ требований*. Итоговым артефактом данного этапа становится *определенный круг задач, требующих решения*. Оттого, как поставлена исходная цель и выделены задачи, решение которых предполагает ее достижение, зависит качество, актуальность и полезность получаемых в итоге данных, а допущение ошибки на данном этапе обходится наиболее дорого.

Работа методик и алгоритмов математического моделирования основывается на данных, которые требуют анализа. Именно исходя из поставленной цели исследования и круга задач, для которых необходимо найти решение, необходимо осуществлять процесс

«Формирования исходных данных». Разные проблемные ситуации приводят нас к необходимости *выбора данных* различных характеристик, основываясь на оптимальном выборе спектрального, пространственного, временного и радиометрического разрешений, а так же критериях доступности материалов. Часто, выбранные для анализа данные необходимо *подготовить для моделирования* – осуществить предварительную и тематическую обработку снимков, коррекцию геометрических и радиометрических искажений снимков. И наконец, анализу актуально подвергать не только непосредственно данные дистанционного зондирования Земли, а так же и *материалы, полученные синтетически*, на их основе.

Исследование ландшафтного разнообразия, основанное на изучении яркости пикселей космических снимков Landsat и выявлении закономерностей ее изменения, путем расчета конечных разностей, градиента и лапласиана на примере тестового полигона показало, что синтезированные на основе расчета этих характеристик данные достаточно объективно позволяют выделять интервалы повышенного ландшафтного разнообразия. Апробация методики была проведена на тестовом полигоне «Чеберчинка» [1]. Алгоритм выделения краев и его практическое применение в области моделирования границ ландшафтов на примере учебно-научного полигона по дешифрированию космических снимков на территории национального парка «Смольный» представлены в [2]. В [3] описана методика синтетического ландшафтного картографирования с использованием космических снимков Landsat и полевых исследований, основанная на изучении ландшафтного разнообразия полигона «Инерка», путем анализа яркости изображения и вычисления энтропии, как меры неоднородности.

Этап **«Генерации выходных данных»** является центральным в технологическом процессе решения задачи моделирования структуры землепользования на базе данных ДЗЗ. От точности и объективности применяемых на данном шаге методик напрямую зависит качество и достоверность получаемых данных. Данный этап начинается с *выбора математических моделей*, который должен проводиться на основании имеющегося набора исходных данных и желаемых характеристик результата. Функционирование методик математического анализа должно основываться на качественном анализе исходных данных, основанном на *выделении эталонных признаков и статистических закономерностей*. На основании поставленной задачи, характера исходных данных и желаемого результата осуществляется эмпирическая попытка *определения параметров работы алгоритмов*. Конечным артефактом данного этапа являются *сформированные выходные данные*, полученные благодаря применению ряда методик моделирования с различными параметрами.

Особую актуальность приобретают мягкие вычисления, представляющие собой совокупность вычислительных методик, включающую в себя нечеткую логику, искусственные нейронные сети (ИНС) и генетические алгоритмы [4]. Машины опорных векторов (SVM), обеспечивают гарантированное получение оптимального решения задачи классификации.

Эксперимент, проведенный на базе спутниковой съемки Landsat территории тестового полигона «Национальный парк "Смольный"» позволил исследовать вопросы применения нейронных сетей прямого распространения для решения задачи ландшафтного картографирования на базе космических снимков.

Следующий важный этап носит название **«Анализ выходных данных»** и позволяет, используя различные методики и метрики оценить результаты проведенного эксперимента. Большую роль здесь играет построение матриц ошибок и расчета целого спектра параметров точности работы алгоритмов. Данные процедуры позволяют получить объективную оценку *как точности работы алгоритмов, так и выделения отдельных классов*. Ценность данного этапа заключается в том, что он позволяет осуществить *корректировку параметров функционирования математических моделей*, обеспечивая обратную связь с предыдущим

этапом. Конечной же целью этапа анализа выходных данных является *выбор лучших и оптимальных решений*.

Матрицы ошибок представляют собой таблицы сопряженности, позволяющие оценивать качество проведенной классификации и выделения определенных классов. Вычисляемые на ее основе метрики, такие как величина ошибок I и II родов, чувствительность, правдоподобие, точность, распространенность позволяют объективно подойти к оценке качества полученных данных. Это позволяет использовать на этапе генерации выходных данных различные алгоритмы анализа, при различных параметрах их функционирования, с тем, чтобы в итоге выбрать наилучший результат и может давать ключ к корректировке используемых алгоритмов.

Завершающей ступенью описываемого технологического процесса является этап **«Использования полученных результатов»**. Полученные результаты должны быть подвергнуты *анализу и оценке* специалистов соответствующего профиля. Для структурированного хранения полученных данных с целью обеспечения их дальнейшего использования обеспечивается процесс *формирования баз данных и баз знаний*, позволяющий дать возможность повторного обращения к хранимой информации, и, что так же важно, использовать накопленные ранее сведения как исходные данные для моделирования. На основе оценки полученных результатов осуществляется *выработка практических рекомендаций* в исследуемой предметной области, обеспечивая получение ответа на вопросы, которые были поставлены на этапе определения проблемной ситуации.

Максимальную отдачу от полученных в результате моделирования данных можно получить, лишь обеспечив возможность их *публикации и распространения*. В связи с этим, была предложена структура регионального геопортала, спроектированная таким образом, чтобы обеспечить максимальную продуктивность при публикации и распространении геоданных. Практической реализацией данной структуры является спроектированный и реализованный геопортал Русского географического общества в Республике Мордовия (<http://geo13.ru>). Главной задачей проекта, которую он решает является реализация конечного этапа технологического процесса решения задачи моделирования структуры землепользования на базе данных ДЗЗ, обеспечивающего его продуктивность – публикации и распространения результатов.

Вывод

Таким образом, технологический процесс решения задачи моделирования структуры землепользования на базе данных ДЗЗ представляет собой комплексную систему, компоненты которой тесно взаимодействуют между собой, а результаты и артефакты полученные на одном из этапов оказывают непосредственное влияние на качество и объективность исследований, проводимых в рамках других этапов. Этим определяется необходимость не только добиваться максимальной достоверности каждого применяемого в отдельности метода, но и всегда заботиться о согласованности всех компонентов функционирования целостной системы.

Список литературы

1. *Ямашкин, А.А.* Применение ГИС в анализе морфологической структуры ландшафтов / А.А. Ямашкин, С.А. Ямашкин // Вестн. Удмуртского ун-та. «Биология. Науки о Земле». – 2013. – № 3. – С. 34–41.
2. *Ямашкин, А.А.* Применение алгоритма выделения краев к решению задачи моделирования границ ландшафтов / А.А. Ямашкин, С.А. Ямашкин // Вестн. ВГУ. – Серия «География, геоэкология». – 2013. – № 3. – С. 68–78.
3. *Ямашкин, А.А.* ГИС-моделирование ландшафтного разнообразия / А.А. Ямашкин, С.А. Ямашкин // Геодезия и картография – 2013. – № 11. – С. 40–46.
4. *Радионон, Г.П.* Инфраструктура пространственных данных Российской Федерации: опыт, технологии, особенности / Г.П. Радионон, В.И. Загоровский // ArcReview. – 2012. – №4. – С. 12–16.

05.17.08

В.Н. Хмелёв д.т.н., С.С. Хмелёв к.т.н., Р.Н. Голых,
Ю.М. Кузовников к.т.н., Д.С. Абраменко к.т.н., К.А. Карзакова

Бийский технологический институт АлтГТУ, кафедра МСИА, Бийск, grn@bti.secna.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В КАВИТИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРОТОЧНЫХ РЕАКТОРОВ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта
№ 14-08-31521 мол_а

В статье описан конечно-элементный подход к моделированию распространения акустических колебаний в кавитирующей среде. Предложенный подход позволил установить распределения кавитационных зон в проточных реакторах различных конструкций, и разработать конструкцию, обеспечивающую увеличение объёма зоны развитой кавитации в высоковязких средах до 3 раз согласно результатам моделирования.

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, вязкие жидкие среды, проточный реактор, кольцевые отражатели.

Жидкие среды, характеризующиеся значительной вязкостью от 100 мПа·с до 2 Па·с (неотверждённые полимерные наноструктурированные материалы, лакокрасочные композиции, смолы), получают все более широкое распространение в промышленности. Использование таких сред в качестве сырья позволяет придать уникальные свойства конечному продукту за счёт модификации физико-химической структуры жидкостей. Многочисленными лабораторными исследованиями [1, 2] доказано, что наиболее перспективным способом модификации физико-химической структуры является ультразвуковое (УЗ) воздействие, обеспечивающее возникновение и поддержание кавитации, которая приводит к разрушению механических, химических связей, распаду капель эмульсии и т. д.

Однако существующее ультразвуковое оборудование проточного типа с многозонными излучателями, которое является наиболее эффективным на сегодняшний день, не позволяет создать зону развитой кавитации [2], имеющую объём более 2 л, в этих жидкостях. Это вызвано сосредоточенностью кавитационной зоны вблизи излучающей поверхности, обусловленной поглощением (более 20 дБ/м) акустических колебаний в кавитирующей среде и высокими пороговыми интенсивностями, требуемыми для возникновения кавитации в высоковязких средах.

Наиболее перспективным подходом [2] к увеличению объёма формируемой кавитационной зоны является оптимизация условий УЗ воздействия (геометрии технологического объёма), обеспечивающих возникновение стоячих волн. Для выявления оптимальных условий УЗ воздействия производится нахождение распределения звукового давления в технологическом объёме с помощью метода конечных элементов. В рамках метода конечных элементов уравнение Гельмгольца для пузырьковой среды, которое приведено в работе [3], сводится к системе линейных уравнений относительно амплитуд звукового давления в узлах сетки разбиения p_m :

$$-\sum_{i=1}^N \int_V p_i (\nabla f_i, \nabla f_m) \partial V + \frac{\omega^2}{c_0^2} (1 - \rho_0 c_0^2 C) \sum_{i=1}^N p_i \int_V f_m f_i \partial V = 0; \quad (3)$$

где V – расчётная область, по которой производится интегрирование; f_m – базисные функции;

C – постоянная аппроксимации объёмного содержания пузырьков $\bar{\delta}_1(p) \approx Cp$, Па⁻¹; ω – круговая частота первичного УЗ поля, с⁻¹, ρ_0 и c_0 – равновесная плотность (кг/м³) и скорость звука (м/с) в сплошной жидкости соответственно.

Решение системы линейных уравнений (3) позволяет найти распределение амплитуд звукового давления и установить распределение кавитационных зон в объёме жидкости, соответствующих 5 основным режимам развития кавитации, перечисленным в работе [3]. Это режимы отсутствия кавитации (■), зарождающейся кавитации (■), развитой кавитации (■), вырождающейся кавитации (■) и вырожденной кавитации (■). В скобках указаны цветовые обозначения зон, соответствующих данным режимам, использованные на рисунке 2.

Наибольший практический интерес представляет режим развитой кавитации, в котором схлопывание пузырьков происходит с максимальными амплитудами давления ударных волн ($20 \cdot 10^5 \dots 80 \cdot 10^5$ Па). В качестве критерия режима развитой кавитации принято наличие разрушения алюминиевой фольги толщиной 9 мкм под воздействием кавитации ($p_2 < |p| < p_3$);

Таким образом, описанный метод конечных элементов может быть использован для оптимизации условий ультразвукового воздействия (геометрии технологического объёма), обеспечивающих максимальный объём зоны развитой кавитации. Он позволяет найти конструктивные схемы ультразвуковых проточных реакторов, обеспечивающие повышение эффективности ультразвуковой кавитационной обработки жидких сред.

За основу поиска конструктивных схем взята металлическая цилиндрическая полость постоянного диаметра. В ней расположен многозонный рабочий инструмент ступенчато-переменного диаметра (70/45 мм) с увеличенной поверхностью излучения (рисунок 2а).

Согласно приведённому на рисунке 2а распределению кавитационных зон полный объём обрабатываемой жидкости в гладком цилиндре составляет 12,61 л, а доля полезного объёма (совокупного объёма зон развитой кавитации) не превышает 35% (3,92 л), что свидетельствует о крайне низкой степени однородности УЗ кавитационной обработки в простом цилиндре.

Поэтому для увеличения совокупного объёма зоны развитой кавитации в патенте [2] предложено параллельно рабочему инструменту устанавливать отражающие выступы, имеющие форму трапеции. Распределение кавитационных зон в такой конструкции с отражающими выступами показано на рисунке 2б. На основании результатов проведенных расчетов абсолютное значение объёма зон развитой кавитации не превышает 3 л – это на 25% меньше, чем даже в гладком цилиндре, что свидетельствует о крайне низкой эффективности данной конструкции из-за того, что выступы занимают до 30% полного объёма обрабатываемой жидкости.

Чтобы исключить уменьшение полного объёма обрабатываемой жидкости, рассмотрена возможность замены каждого трапецевидного отражателя парой тонких кольцевых пластинчатых отражателей (рисунок 2в), располагаемых в плоскостях боковых поверхностей трапецевидных отражателей из предыдущей конструкции.

Распределение кавитационных зон в проточном реакторе с кольцевыми пластинчатыми отражателями приведено на рисунке 2в.

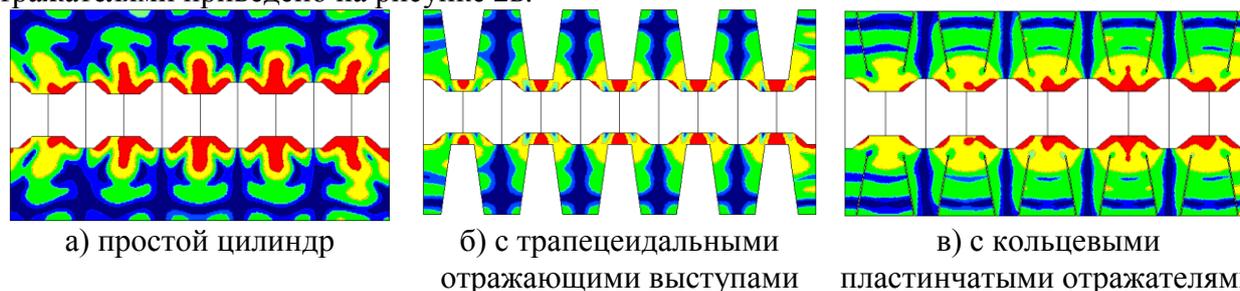


Рисунок 2 – Распределение кавитационных зон в технологических объёмах различной геометрии

Согласно проведённым расчётам в конструкции с пластинчатыми отражателями полезный объём достигает 5,8 л, что свидетельствует о возможности повышения эффективности обработки до 46% в реакторах проточного типа.

Таким образом, конечно-элементное моделирование распространения позволило исследовать влияние условий распространения и отражения УЗ колебаний (размер и форма технологической камеры) на совокупный объём, занимаемый зоной наиболее эффективного кавитационного воздействия. На основании результатов моделирования установлено, что наиболее эффективной конструкцией проточного реактора является полый цилиндр с кольцевыми пластинчатыми отражателями, позволяющими увеличить объём зоны развитой кавитации до 3-х раз.

С целью снижения гидравлического сопротивления проточного реактора (рисунок 2в) с отражающими пластинами на порядок (с 2...10 кПа до 50...200 Па) и уменьшения дисперсии времени пребывания, обусловленного возможным образованием зон застоя для высоковязких жидкостей, предложена модификация данной конструкции (рисунок 3), в которой реализуется проток жидкости перпендикулярно оси симметрии излучателя.

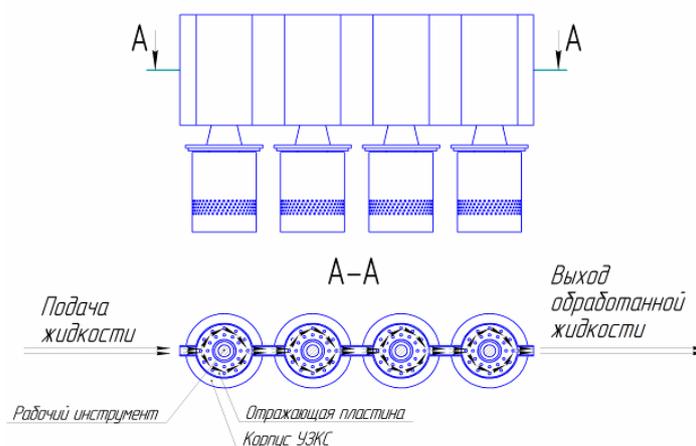


Рисунок 3 – Эскиз многокаскадной конструкции проточного реактора с кольцевыми отражателями

Таким образом, предложенная модель формирования кавитационной области позволила исследовать влияние условий распространения и отражения УЗ колебаний на совокупный объём, занимаемый зоной кавитационного воздействия, и разработать конструкции технологических камер, обеспечивающих повышение эффективности УЗ обработки.

Список использованных источников

1. Магсумова, А.Ф. Влияние ультразвуковой обработки на технологические свойства эпоксидного олигомера [Текст] / А.Ф. Магсумова, Л.М. Амирова, М.М. Ганиев // Вестник КГТУ им. Туполева. – 2005. – №2.
2. Ультразвуковой проточный реактор [Текст]: пат. 2403085 РФ МПК В01J19/10 / Борисов Ю.А., Леонов Г.В., Хмелев В.Н., Абраменко Д.С., Хмелев С.С., Шалунов А.В. (РФ) патентообладатель: ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова» (РФ) заявка 2009115487/05 от 23.04.2009, опубл. 10.11.2010.
3. Хмелёв, В.Н. Выявление режимов ультразвукового воздействия, обеспечивающих формирование кавитационной области в высоковязких и неньютоновских жидкостях [Текст] / В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов и др. // Южно-Сибирский научный вестник. – 2014. – №1. – С. 22-27.

05.17.08

**В.Н. Хмелёв д.т.н., Р.Н. Голых, А.В. Шалунов д.т.н., В.А. Нестеров,
А.В. Шалунова к.т.н., Е.В. Ильченко**

Бийский технологический институт АлтГТУ, кафедра МСИА, Бийск, grn@bti.secna.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАВИТАЦИОННЫХ
ПУЗЫРЬКОВ С ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА «ЖИДКОСТЬ-ГАЗ» ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ
РЕЖИМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ МАКСИМАЛЬНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ
ПОВЕРХНОСТИ КОНТАКТА ФАЗ**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-08-31716 мол_а

В статье описана разработанная математическая модель взаимодействия кавитационных пузырьков с границей раздела «жидкость-газ». Модель позволила выявить режимы ультразвукового воздействия, обеспечивающие увеличение поверхности контакта фаз более чем в 3 раза.

Ключевые слова: *ультразвук, кавитация, капиллярная волна, абсорбция.*

Скорость реализации большинства физико-химических процессов ограничивается поверхностью границы раздела взаимодействующих веществ или фаз и скоростью подвода реагентов к этой границе. Значительное число таких процессов происходит в двухфазных системах «жидкость-газ» (мокрая очистка газов; абсорбция; сушка материалов и др.). Очевидно, что для их максимальной эффективности необходимо, в первую очередь, обеспечить как можно большую площадь поверхности контакта жидкой и газовой фазы.

Одним из перспективных методов увеличения поверхности контакта фаз является воздействие микроскопическими ударными волнами, приводящими к образованию возмущений границы раздела «жидкость-газ» (капиллярных волн). Известно, что наиболее энергетически выгодным способом [1] создания ударных волн является введение ультразвуковых (УЗ) колебаний в жидкую фазу с частотой 20...70 кГц для возникновения кавитации.

Поэтому необходима разработка модели для выявления оптимальных режимов УЗ воздействия с целью максимизации площади поверхности раздела. Очевидно, что площадь межфазной границы, требуемую для промышленной реализации физико-химических процессов, можно достичь в том случае, если жидкость растекается по поверхности твёрдого тела в виде тонкой плёнки толщиной не более 5 мм (например, в плёночных или насадочных абсорберах). Если на такую систему дополнительно наложить УЗ воздействие (например, путём возбуждения колебаний в твёрдом теле), то возникающие в жидкости кавитационные пузырьки будут схлопываться асимметрично из-за отражения ударных волн от твёрдой границы (рисунок 1).

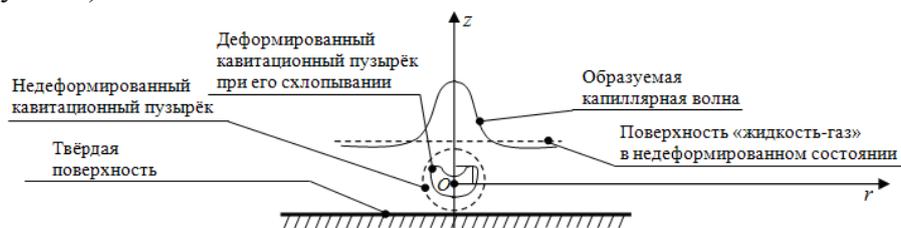


Рисунок 1 – Графическое представление предлагаемого способа увеличения поверхности межфазного взаимодействия

Поэтому представленная в статье модель включает в себя последовательное рассмотрение следующих стадий образования капиллярных волн: сферически симметричного расширения

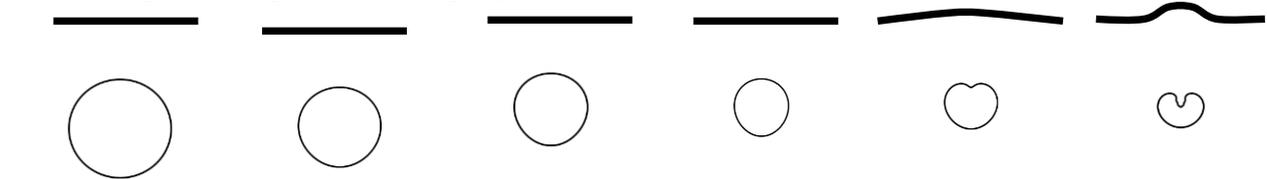
кавитационного пузырька; его ассиметричного схлопывания; образования узконаправленных ударных волн и формирования волнообразных возмущений профиля поверхности раздела «жидкость-газ», как показано на рисунке 1.

При рассмотрении стадии расширения кавитационного пузырька определяется его максимальный радиус R_{MAX} на основании уравнения Нолтинга-Непайреса [2]. Затем определяется форма пузырька при его схлопывании с максимального радиуса R_{MAX} до минимальных размеров на основании интегрального уравнения (1) с граничными условиями для потенциала скорости жидкости на стенке пузырька (2).

$$\frac{\varphi(\mathbf{r}_0)}{2} = \int_{S_A \cup S_B} \left(E_{r_0} V_n - \frac{\partial E_{r_0}}{\partial \mathbf{n}} \varphi \right) dS; (1) \quad \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{|V_n|^2 + |V_\tau|^2}{2} = \frac{2\sigma K}{\rho} - \frac{p_n}{\rho} \left(\frac{3V}{4\pi R_{MAX}^3} \right)^\gamma; (2)$$

где \mathbf{r}_0, \mathbf{r} – векторы координат точек стенки кавитационного пузырька или распылительной поверхности, м; φ – потенциал скорости движения жидкости на стенке кавитационного пузырька S_A или твёрдой поверхности S_B , м²/с; V_n и V_τ – нормальная и тангенциальная компоненты скорости движения жидкости, м/с; $E_{r_0}(\mathbf{r})$ – фундаментальное решение уравнения Лапласа; V – объём кавитационного пузырька, м³; p_n – давление насыщенных паров жидкости, ρ и σ – плотность (кг/м³) и поверхностное натяжение (Н/м) жидкости соответственно; K – средняя кривизна стенок пузырька, м⁻¹.

Полученные формы стенок кавитационного пузырька при схлопывании в различные моменты времени приведены на рисунке 2.



— — поверхность раздела «жидкость-газ»; — — стенка кавитационного пузырька
 а) 0 мкс б) 0,38 мкс в) 0,75 мкс г) 1,13 мкс д) 1,24 мкс е) 1,35 мкс

Рисунок 2 – Эволюция формы несимметрично схлопывающегося кавитационного пузырька с течением времени

Как видно из рисунка 2е, пузырёк фактически представляет собой полусферический излучатель ударной волны, профиль давления которой на границе «жидкость-газ» аппроксимируется полученным выражением (3):

$$p(\mathbf{r}, t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} fa \varepsilon \operatorname{Re} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} p_c(t_1) e^{\frac{2\pi i f n}{c} \left(c(t-t_1) + \frac{a}{\varepsilon} \frac{\eta \pi}{\rho c^2} + z \varepsilon \cos \psi \right)} \sin \psi J_0 \left(2\pi i \frac{f}{c} r \varepsilon \sin \psi \right) \partial t_1 \partial \psi; \quad \varepsilon = \frac{a}{\sqrt{r^2 + z^2}} (3)$$

где $(r; z)$ – координаты точки границы раздела «жидкость-газ», м; f – частота УЗ воздействия, с⁻¹; t и t_1 – моменты времени, с; η – вязкость жидкости, Па·с; ρ и c – плотность (кг/м³) и скорость звука (м/с) в жидкости соответственно; $p_c(t_1)$ – давление в ядре кавитационного пузырька, Па; a – радиус кавитационного пузырька при достижении максимума давления в его ядре, м.

Найденный профиль давления ударной волны используется в дальнейшем для определения относительного увеличения площади поверхности раздела фаз исходя из полученного выражения (4), учитывающего изменение концентрации пузырьков [2,3] за счёт их коалесценции и дробления:

$$s = 1 + \frac{4h}{\pi} f \left\langle \frac{j-1}{R_{MAX}^2 U} \right\rangle \int_0^{0,5l} r \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\rho} \int_0^{t_2} \frac{\partial^2 p}{\partial z \partial r} \partial t_1 \partial t_2 \right)^2} \partial r; (4) \quad \int_0^{t_2} \int_0^{t_2} \frac{\partial^2 p}{\partial z \partial r} \left(\frac{\lambda}{2}, z, t_1 \right) \partial t_1 \partial t_2 = 0 (5)$$

где s – относительное увеличение площади границы раздела фаз; λ – длина капиллярной волны (м), определяемая из условия (5); R_{MAX} – максимальный радиус пузырька, м; U – средняя скорость сближения пузырьков, м/с; j – количество зародышей, образуемых при дроблении отдельного пузырька, $\langle \rangle$ – знак усреднения по толщине плёнки жидкости; h – толщина плёнки, м.

Таким образом, разработанная модель позволяет выявить зависимости относительного увеличения площади границы «жидкость-газ» от режимов УЗ воздействия (частота и

амплитуда колебаний твёрдого тела, покрытого жидкой плёнкой) (рисунок 3) и свойств жидкости (рисунок 4).

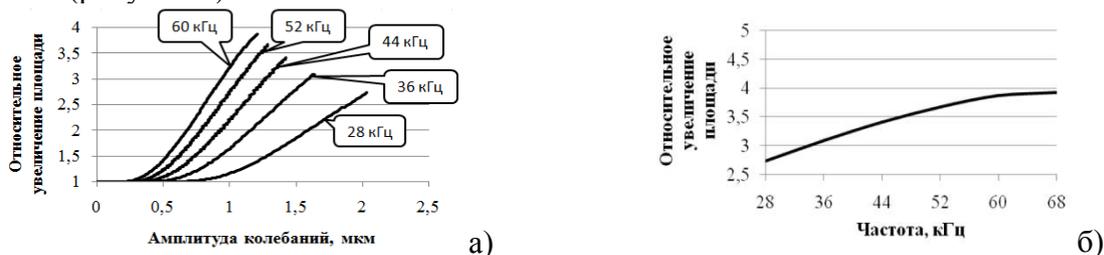


Рисунок 3 – Зависимости удельной площади границы раздела от режимов УЗ воздействия: (а) от амплитуды при разных частотах; (б) от частоты

На рисунке 3а обрыв графиков соответствует тому, что капиллярная волна теряет устойчивость и начинает распадаться на капли [1]. Зависимость от частоты (рисунок 3б) построена при максимальных амплитудах, когда капиллярная волна остаётся устойчивой. Из данных зависимостей следует рост площади поверхности раздела фаз с увеличением амплитуды. Если увеличивать частоту, то площадь поверхности также возрастает за счёт повышения концентрации кавитационных пузырьков [2]. Однако, начиная с частоты 60 кГц, рост площади существенно замедляется, в то время как энергетические потери в УЗ излучателе возрастают квадратично. Поэтому использование частот воздействия свыше 60 кГц является нецелесообразным.

На рисунке 4 приведены зависимости удельной площади поверхности раздела фаз от свойств жидкости – вязкости (а) и поверхностного натяжения (б), которые оказывают существенное влияние на профиль поверхности контакта фаз наряду с режимами УЗ воздействия.

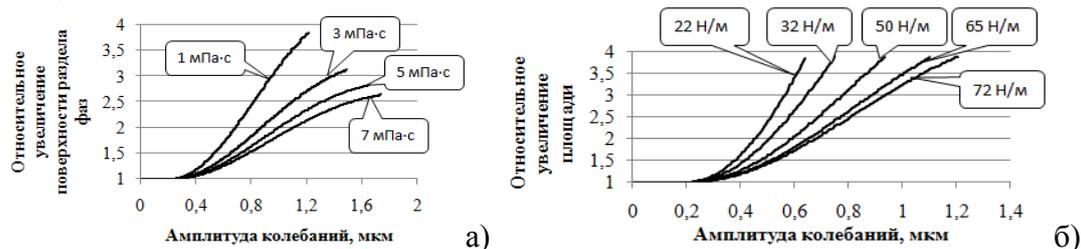


Рисунок 4 – Зависимости удельной площади границы раздела фаз от амплитуды при различных свойствах жидкости (частота 60 кГц)

Данные зависимости (рисунок 4) можно использовать для определения изменения площади, вызванного сменой типа жидкой фазы или изменением её физических свойств. Выявлено, что рост вязкости приводит к уменьшению площади поверхности раздела из-за сил вязкого трения. При этом уменьшение поверхностного натяжения приводит к увеличению площади, поскольку поверхностная энергия связана с ним прямой зависимостью.

Полученные результаты могут быть использованы для практической реализации физико-химических процессов на границе «жидкость-газ» (абсорбция, сушка, испарение и т. д.). В частности, УЗ воздействие в насадочных абсорберах позволит использовать до 3 и более раз меньшее количество тел насадки при сохранении производительности абсорбции.

Список использованных источников

1. *Khmelev, V.N.* Revelation of optimum modes of ultrasonic influence for atomization of viscous liquids by mathematical modelling [Текст] / V.N.Khmelev, R.N.Golykh, A.V.Shalunov, A.V.Shalunova, D.V.Genne // EDM'2012 – Proceedings. – 2014. – P. 114-123.
2. Физические основы ультразвуковой технологии [Текст] / Под ред. Л.Д. Розенберга. – М.:Наука, 1969. – 689 с.
3. *Хмелёв, В.Н.* Выявление режимов ультразвукового воздействия, обеспечивающих формирование кавитационной области в высоковязких и неньютоновских жидкостях [Текст]/ В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых, С.С. Хмелёв // Южно-Сибирский научный вестник – 2014. – №1. – С. 22-27.

05.23.01

В.Х. Хуранов, М.И. Бжахов, А.Я. Джанкулаев, З.Р. Лихов

ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
Valeriy-archi@mail.ru

НОВОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ РАВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

В работе рассмотрено конструктивное решение железобетонной балки с полигональным очертанием верхнего пояса. По своим характеристикам представленная балка практически соответствует элементам равного сопротивления. При сравнении с существующими аналогичными конструкциями выявлена существенная экономия материалов.

Ключевые слова: *равное сопротивление, железобетонная балка, полигональное очертание.*

Создание железобетонных изгибаемых конструкций идеально равного сопротивления практически невозможно, однако максимально возможное приближение к такому решению должно стать основной целью при проектировании конструкций, т.к. обеспечивает минимальный расход материалов.

К изгибаемым элементам равного сопротивления из изотропных упругих материалов относятся такие, в которых отношение изгибающего момента к моменту сопротивления вдоль пролета остается постоянным ($M/W=const$).

Одним из известных путей создания изгибаемых конструкций, приближающихся к элементам равного сопротивления, является изменение размеров поперечного сечения вдоль элемента в соответствии с эпюрой моментов от внешних нагрузок [1]. Для однопролетных балок, а также консолей из металла или дерева таким путем можно получить почти идеальные элементы равного сопротивления. В железобетоне это сложнее, однако, придание элементам переменного сечения и в этом случае приводит к значительному эффекту.

Применительно к стропильным железобетонным балкам поставленная цель может быть достигнута путем придания верхней грани полигонального (ломанного) очертания вдоль пролета.

Покажем на примере стропильной преднапряженной балки степень эффективности такого решения. Геометрические размеры предложенной балки, показанные на рисунках 1 и 2 отличаются от существующих аналогичных балок тем, что благодаря ломаному очертанию верхней грани получена балка практически равного сопротивления.

Балка в растянутой зоне армирована преднапряженными канатами ($6\emptyset 14$ К-19, $A_{sp}=7,72$ см², $R_s=1250$ МПа, $R_{sn}=1500$ МПа, $E_s=18\cdot 10^4$ МПа), а сжатой - сталью класса А-III ($4\emptyset 10$, $R_s=365$ МПа, $R_{sn}=390$ МПа, $E_s=20\cdot 10^4$ МПа). Бетон принят класса В40 ($R_b=22$ МПа, $R_{bp}=390$ МПа, $R_{bt}=1,4$ МПа, $R_{btp}=1,3$ МПа, $R_{b,ser}=29$ МПа, $R_{bt,ser}=2,1$ МПа, $E_b=36\cdot 10^3$ МПа).

Балка загружена сосредоточенными силами в местах опирания железобетонных ребристых плит размером 3х6 м. Полная расчетная нагрузка на балку составляет $q=32$ кН/м, нормативная $q_n=27$ кН/м.

По заданным значениям изгибающих моментов от внешней нагрузки M_F были определены высоты балки в сечениях под грузами и в наиболее опасном сечении на расстоянии $0,37l=655$ см. Значения моментов внутренних сил при принятых высотах сечений даны в скобках (рис. 1, б). Значения отношений моментов внутренних сил к моментам от внешней нагрузки (рис. 1, в) колеблются в пределах от 0,995 до 1,007, т.е. практически это отношение остается постоянно равным 1 по всей длине балки.

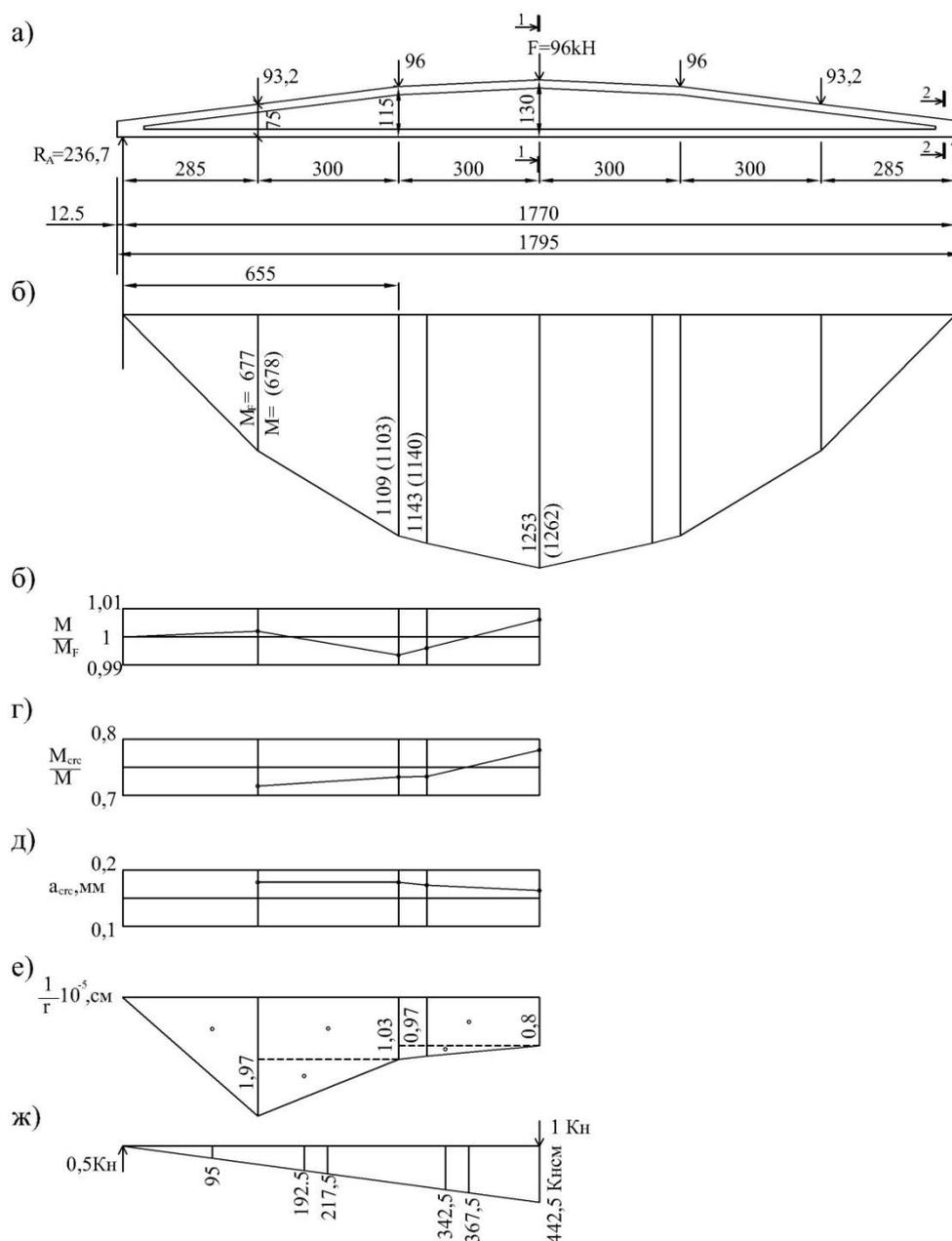


Рис. 1- Предлагаемая железобетонная балка равного сопротивления пролетом 18 м. и полигональным верхним поясом: а – общий вид; б – эпюра моментов от внешней нагрузки и внутренних усилий (значения в скобках); в – отношение моментов внутренних сил к моментам от внешней нагрузки; г – отношения моментов трещинообразования к предельным моментам в данном сечении; д – ширина раскрытия трещин; е – эпюра кривизны; ж – эпюра моментов от единичной силы

При принятом профиле балки практически одинаковым вдоль пролета является также сопротивление трещинообразованию – отношение момента трещинообразования к предельному моменту во всех сечениях изменяется в пределах от 0,73 до 0,77 (рис. 1, г), а ширина раскрытия трещин – от 0,17 до 0,18 мм (рис. 1, д). Приведенные данные свидетельствуют о том, что предложенная балка является балкой равного сопротивления – в ней нет излишних запасов прочности и трещиностойкости.

Прогиб балки в середине пролета, вычисленный по эпюре кривизны (рис. 1, е), составил 4,42 см, т.е. 1/400. Прогиб вычислялся при нормативной нагрузке, равной 0,844 от расчетной.

В сравнении с существующими стропильными двухскатными железобетонными балками при одинаковых классах бетона, арматурной стали и нагрузке предлагаемая благодаря более

совершенному профилю (рис. 3.) является наиболее экономичной – в ней ниже расход стали на 8-10%, расход бетона и масса балки – на 15...27% (табл. 1).

Таблица 1. Расход бетона и масса стропильной железобетонной балки пролетом 18 м при нагрузке 32 кН/м

№№	Тип балки	Расход бетона, м ³	Масса, т
1.	Типовая 1БСД18 Серии 1.462,1-16/88в 0,1-3	3,1	7,75
2.	По данным [2]	3,64	9,1
3.	По данным [3]	3,5	8,75
4.	Предлагаемая. Равного сопротивления	2,65	6,63

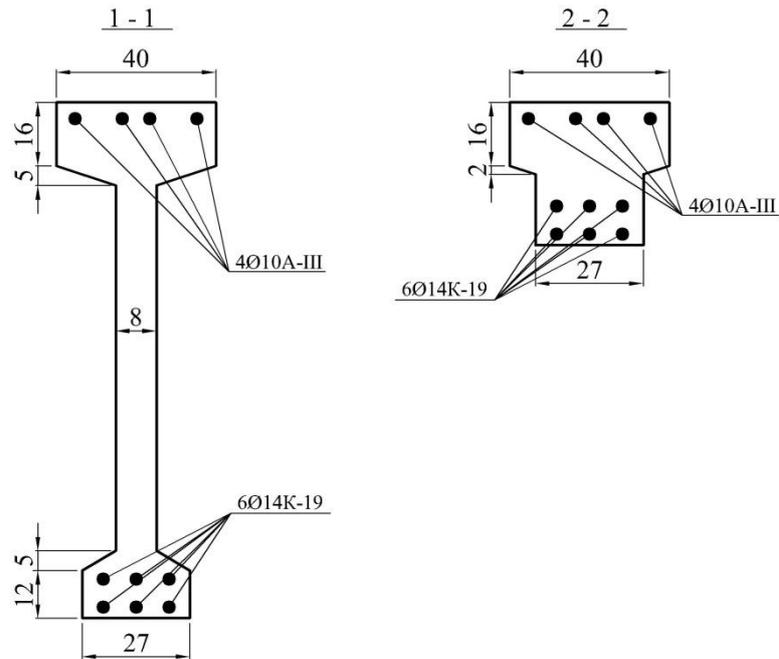


Рис. 2 – Сечения предлагаемой железобетонной балки

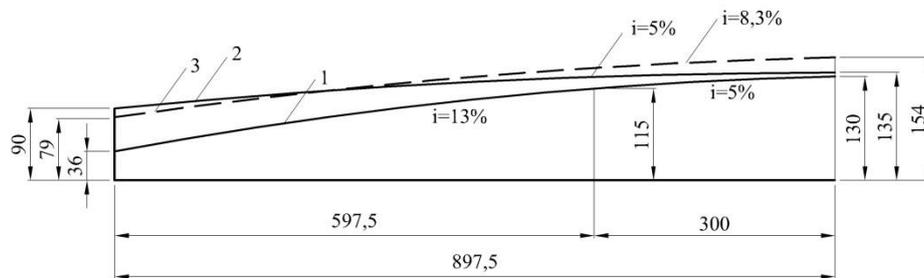


Рис. 3- Профили стропильных железобетонных балок пролетом 18 м. при $q = 32 \text{ кН/м}$: 1 – предлагаемой, 2 – типовой, 3 – по данным [2,3]

Таким образом, показана возможность создания изгибаемых предварительно напряженных железобетонных элементов практически равного сопротивления путем придания им вдоль пролета полигонального и криволинейного профиля.

Список литературы

1. Маилян Д.Р., Маилян Р.Л., Хуранов В.Х. Способы изготовления железобетонных конструкций с переменным преднапряжением по длине элемента. // Известия ВУЗов. Строительство. – 2004. - №5.
2. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. // Общий курс -М.: Стройиздат, 1991.
3. Проектирование железобетонных конструкций. // Справочное пособие. – Под ред. А.Б. Голышева. – Киев: Будивэльнык, 1990.

05.22.10

И.Ф. Шакиров, Н.С. Захаров

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА РАСХОД ТОПЛИВА СПЕЦИАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ АЭРОПОРТОВ

Приведены факторы, влияющие на расход топлива. Получены математические модели закономерностей влияния факторов на расход топлива. Представлены графики моделей.

Ключевые слова: *расход топлива, специальные автомобили аэропортовых служб.*

Нормирование является важным инструментом рационального распределения и эффективного использования топлива [1].

Разнообразие применяемых специальных автомобилей в аэропортах и, как следствие, различный перечень и принцип работы навесного оборудования, вносят дополнительные трудности в расчет норм расхода топлива. В настоящее время наименее изученным является вопрос нормирования расхода топлива автомобилей с дополнительным оборудованием, работающих во время движения [2]. Особенности эксплуатации специальных автомобилей данной категории, в том числе влияние большого количества факторов, и особенности конструкции транспортных средств не позволяют производить нормирование расхода топлива в соответствии с нормативным документом [3]. Поэтому целью исследований является установление закономерностей влияния условий эксплуатации на процессы расходования топлива специальных автомобилей данной категории. Типичным представителем таких автомобилей является аэродромная компактная подметально-продувочная машина SCHMIDT тип CJS 914 Super II, базовое шасси Mercedes-Benz Actros.

В результате проведенных теоретических исследований были выявлены основные факторы, определяющие расход рассматриваемых автомобилей: температура воздуха, количество осадков. Для установления закономерностей формирования расхода топлива составлен топливный баланс:

$$Q_{\Sigma} = Q_L + Q_{\text{Щ}} + Q_B,$$

где Q_{Σ} - суммарный расход топлива;

Q_L - расход топлива, затрачиваемый на передвижение;

$Q_{\text{Щ}}$ - расход топлива на работу навесного оборудования (щетки);

Q_B – расход топлива на работу навесного оборудования (воздуходувки).

Для определения вклада составляющих топливного баланса в общий расход топлива, а также для установления закономерностей влияния на него рассматриваемых факторов проведен эксперимент на базе службы спецтранспорта ОАО «Аэропорт Рошино» г. Тюмени. В ходе его проведения получены данные о времени работы основного двигателя, времени работы навесного оборудования, пробеге специального автомобиля, о нормах расхода топлива и о количестве фактически израсходованного топлива, о температуре окружающего воздуха и о количестве осадков.

По результатам обработки данных в программе «Regress 2.5» [4] были получены математические модели закономерностей влияния факторов на расход топлива.

На рис. 1 представлена зависимость расхода топлива от температуры окружающего воздуха.

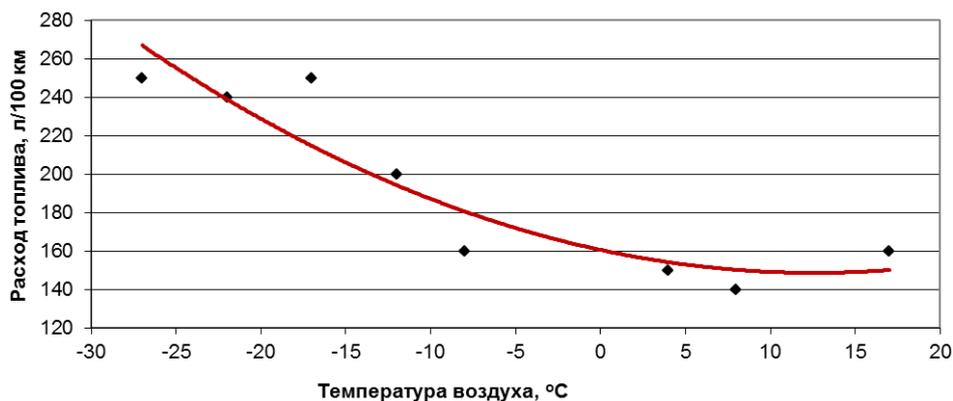


Рис. 1 – Влияние температуры окружающего воздуха на расход топлива спецавтомобилем SCHMIDT CJS 914 Super II

Математическая модель закономерности влияния температуры окружающего воздуха t на расход топлива имеет вид:

$$q = 156,02 - 1,74t + 0,009t^2.$$

Закономерность влияния количества выпавших осадков на наработку навесного оборудования (в моточасах) также была подтверждена результатами экспериментальных исследований (рис. 2).

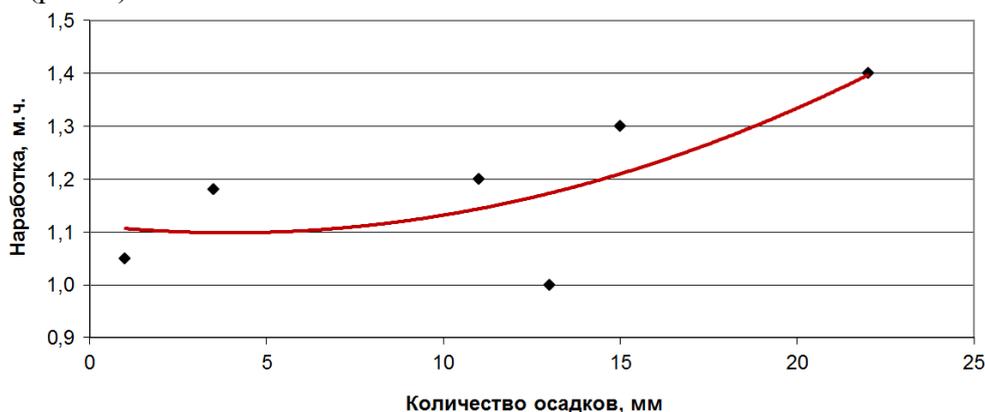


Рис. 2 – Влияние количества осадков на наработку щетки

Математическая модель закономерности влияния количества осадков N на наработку навесного оборудования (щетке) имеет вид:

$$\tau = 4,65 + 3,99N^2.$$

Установлено, что температура окружающего воздуха оказывает влияние на наработку навесного оборудования (воздуходувки) (рис. 3).

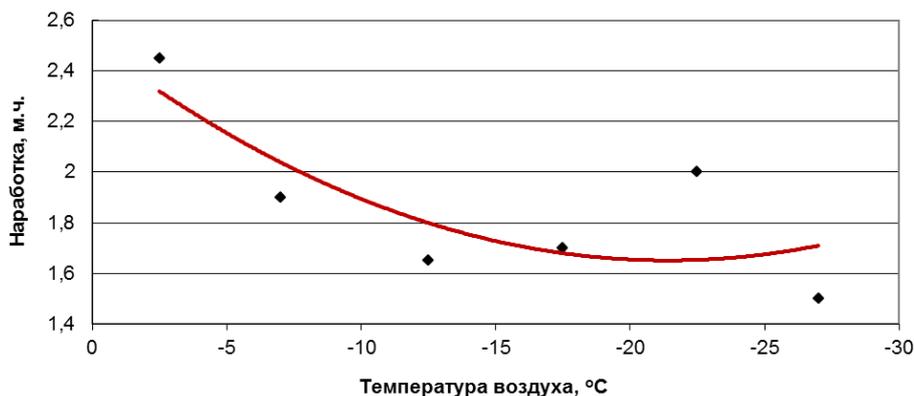


Рис. 3 – Влияние температуры окружающего воздуха на наработку воздуходувки

Математическая модель закономерности влияния температуры окружающего воздуха на наработку навесного оборудования (воздуходувки) имеет вид:

$$\tau = \frac{t}{0,83 + 0,63t}.$$

Математическая модель закономерности влияния наработки щетки на расход топлива имеет вид:

$$q = 39,42 + 40,08\tau_{Щ}.$$

Гипотеза о закономерности влияния наработки воздуходувки на расход топлива была также подтверждена. При увеличении времени работы воздуходувки наблюдается пропорциональное увеличение расхода топлива (рис. 4).

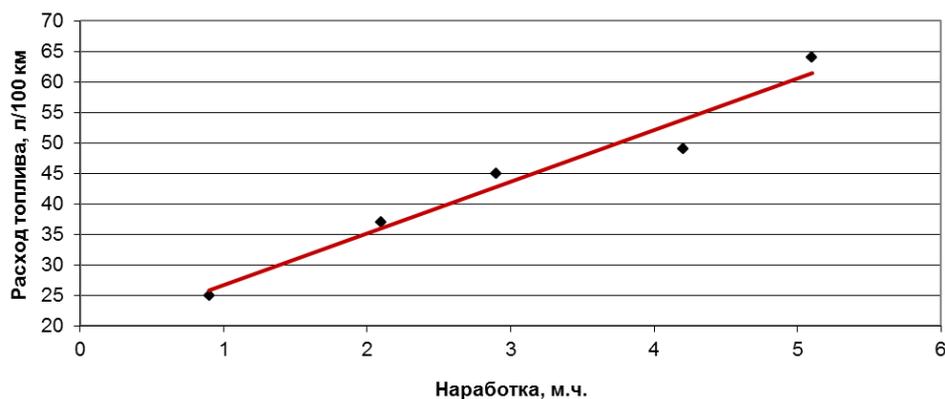


Рис. 4 – Влияние времени работы навесного оборудования (воздуходувки) на расход топлива специальных автомобилей аэропортов

Математическая модель закономерности влияния наработки воздуходувки на расход топлива имеет вид:

$$q = 20,51 + 40,43\tau_B.$$

Средняя ошибка аппроксимации предложенных математических моделей не превысила 15 %, что позволяет судить о их достаточной точности. Проверка по критерию Фишера показала, что, с вероятностью 90% полученные математические модели адекватны.

Таким образом, полученные результаты позволяют прогнозировать расход топлива специальным автомобилем с учетом изменения условий эксплуатации. На их основе можно совершенствовать методику нормирования расхода топлива, что позволит повысить объективность норм и создаст предпосылки для его снижения.

Список литературы

1. Захаров, Н.С. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин / 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.
2. Захаров, Н.С. Оценка факторов, влияющих на эффективность транспортно-технологического обслуживания процессов нефтегазодобычи / Захаров Н.С., Новоселов О.А., Иванкив М.М., Лушников А.А. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2013. – № 1. – С. 70-75.
3. Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте. Методические рекомендации. - М.: Кнорус, 2011. - 160 с.
4. Захаров Н.С. Программа «REGRESS». Руководство пользователя. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 52 с.

05.26.03

¹А.Ф. Шароварников, ¹Д.А. Корольченко, ²А.В. Бяков¹Московский государственный строительный университет,
кафедра комплексной безопасности в строительстве, Москва, ICA_kbs@mgsu.ru²Академия ГПС МЧС России, Москва

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПЕНОЙ НА ОСНОВЕ ФТОРСИНТЕТИЧЕСКИХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ ГАЗОВО-СОЛЕВОЙ СЛОЙ ВОДЫ

В результате лабораторных экспериментов установлены закономерности и механизм тушения пламени нефтепродуктов через газОВО-солевой слой воды. Сделан вывод об определяющей роли поверхностной активности пенообразователей в обеспечении надежного тушения пламени пеной при подаче ее в основание резервуара через этот слой. Определено время тушения нефтепродукта, складывающееся из времени насыщения газОВО-солевого слоя воды поверхностно-активными веществами и собственно времени ликвидации горения.

Ключевые слова: тушение нефтепродуктов; газОВО-солевой слой воды; закономерности тушения пламени нефтепродуктов; пенообразователь.

Пожары в резервуарах обычно начинаются со взрыва паровоздушной смеси и срыва крыши или нарушения целостности ее отдельных участков [1]. Для вытеснения нефти из-под земли используют воду с различными добавками, которая попадает в резервуар вместе с нефтью. В результате образуется двухслойная система: нефть — сверху, а газОВО-солевой слой воды — снизу. При тушении пожара в резервуаре с газОВО-солевым слоем воды пена в процессе прохождения через него частично растворяется и значительного количества неорганических солей в воде может негативно повлиять на огнетушащую способность пены.

Для установления закономерностей и механизма тушения пламени нефти через газОВО-солевой слой воды были проведены лабораторные эксперименты с использованием гептана вместо нефти. Результаты экспериментов по тушению пламени различными способами подачи пены (сверху, в слой гептана и через газОВО-солевой слой воды) представлены на рис. 1.

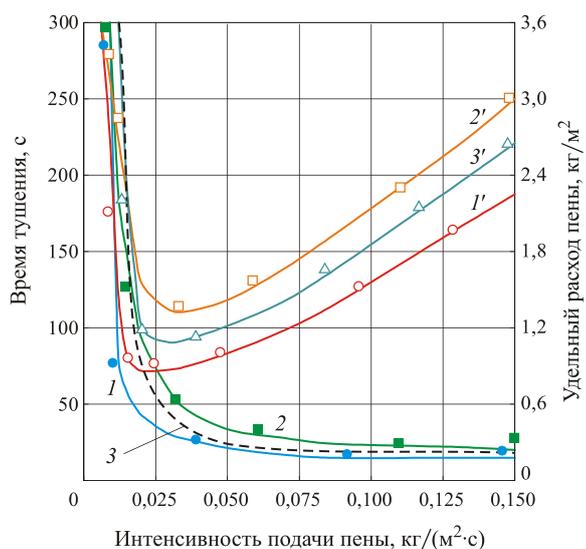


Рис. 1. Зависимость времени тушения (1–3) и удельного расхода (1'–3') при тушении пламени гептана фторсинтетическим пенообразователем от интенсивности подачи пены различными способами: 1, 1' — под слой горючего; 2, 2' — под газОВО-солевой слой воды; 3, 3' — сверху

Форма кривых, характеризующих зависимость времени тушения от интенсивности, определяется соотношением процессов разрушения пены и ее подачи. При низких расходах пены ее приток уничтожается тепловым потоком пламени, и время тушения становится бесконечно большим. В этом случае интенсивность подачи является критической. Движение пены происходит за счет гидравлического перепада давления, который возникает в месте подачи или подъема пены. Чем больше площадь под слоем пены, тем выше должен быть перепад высот. В связи с этим дальнейшее повышение интенсивности практически не сказывается на времени тушения пламени. Такая интенсивность является оптимальной. Она характеризуется тем, что пена продвигается по поверхности гептана, не накапливаясь, и толщина ее слоя поэтому не увеличивается.

При тушении пламени горючих жидкостей различной химической природы одним и тем же раствором пенообразователя критическая интенсивность подачи пены зависит от многих факторов, в частности от удельной массовой скорости выгорания нефтепродукта U_m . По мере ее увеличения критическая интенсивность возрастает (рис. 2).

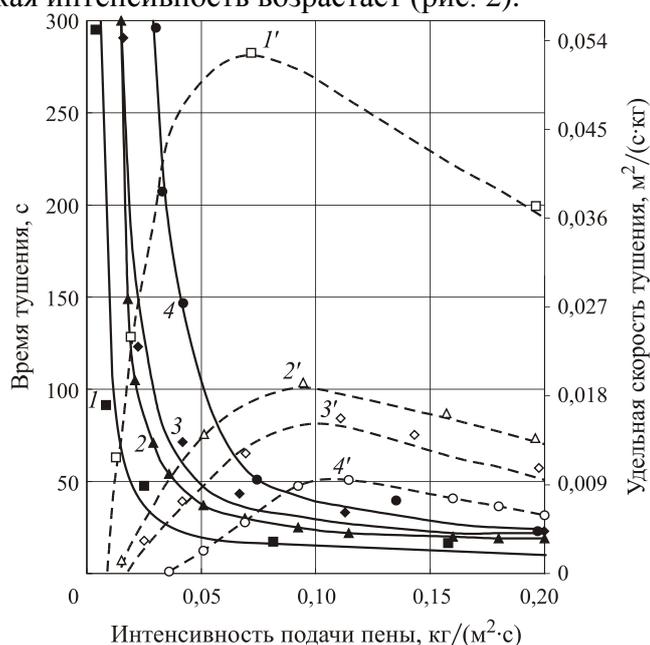


Рис. 2. Зависимость времени тушения (I-4) и удельной скорости тушения (I'-4') от интенсивности подачи пены из фторсинтетического пенообразователя при подслоном тушении гептана (1, 1'), нефти (2, 2'), бензина (3, 3') и пентана (4, 4')

Время тушения однозначно увеличивается с повышением удельной массовой скорости выгорания. Минимум удельного расхода $Q_{\text{уд}}$ постепенно сдвигается в область больших значений интенсивности подачи пены. Если в качестве критерия оптимальности процесса тушения принять минимизацию расхода пенообразователя на тушение единицы площади поверхности нефтепродукта, то интенсивность, соответствующая положению минимума на кривой зависимости удельного расхода при тушении пламени гептана от интенсивности подачи пены, является оптимальной $J_{\text{опт}}$ (см. рис. 1).

Влияние природы нефтепродукта (если рассматривать его через удельную массовую скорость выгорания U_m^0 и удельную теплоту испарения $Q_{\text{исп}}$) на процесс тушения наглядно показано на рис. 2. Наряду с временем тушения, здесь приведена зависимость удельной скорости тушения U_f от интенсивности подачи пены.

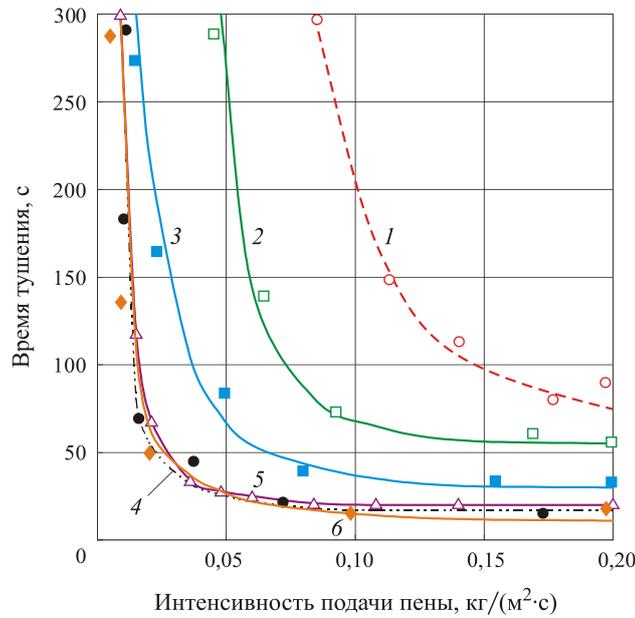


Рис. 3. Зависимость времени тушения пламени гептана через газовой-солевой слой воды, содержащий 20 мг/экв-л солей жесткости пенообразователями: 1 — Подслойный; 2 — Универсальный; 3 — Фторпротеиновый; 4 — Гидрал-3; 5 — Expirol; 6 — FC-203A

Процесс тушения пламени начинается после растворения части пены в газовой-солевом растворе. Период растворения длится до момента появления первого пенного пузырька на поверхности горючей жидкости, при этом в водном растворе достигается концентрация пенообразователя, соответствующая формированию плотного адсорбционного слоя в пенообразующем растворе. Концентрация $C_{г.м}$, при которой образуется плотный адсорбционный монослой, целиком зависит от вида пенообразователя. Она в 50–100 раз ниже критической концентрации мицеллообразования.

По результатам исследований определено время тушения нефтепродукта, которое складывалось из времени насыщения газовой-солевого слоя воды поверхностно-активными веществами и собственно времени ликвидации горения:

$$\tau_{туш} = \tau^* + (\rho_f h) / (J - J_{кр}), \tag{3}$$

где $\tau_{туш}$ — время тушения, с; τ^* — время растворения пены в слое воды, с; h — высота слоя пены, м; ρ_f — плотность пены, кг/м³; $\rho_f = \rho_v / K$; ρ_v — плотность воды, кг/м³; K — кратность пены.

Эксперименты подтвердили, что пена, поднимаясь через газовой-солевой слой воды, в начальный момент времени утрачивает часть активного вещества (преимущественно углеводородный компонент) и частично разрушается.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод об определяющей роли поверхностной активности пенообразователей в обеспечении надежного тушения пламени пеной подачей ее в основание резервуара через газовой-солевой слой воды.

Список литературы

- 1.Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. — М. : ГУГПС, ВНИИПО, МИПБ, 1999.
2. Шароварников А. Ф., Шароварников С. А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — М. : Пожнаука, 2005. — 335 с.

05.13.12

А.М. Эльшейх

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
кафедра «Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве»,
Москва, assermfee@yahoo.com

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ 4D ГРАФИКА СТРОИТЕЛЬСТВА

Это исследование предлагает компьютерную технологию, которая может помочь специалистам по планированию строительного производства решать задачи планирования и формирования 4D графика строительства, используя данные хранящиеся в информационной модели здания (BIM).

Ключевые слова: *календарный график, планирование, BIM, 4D график.*

Планирование строительства включает в себя выбор технологии строительства, определение рабочих задач, оценку необходимых ресурсов, расчет длительностей задач и определение последовательности этих задач. Традиционно, для представления плана проекта и графика производства работ используются диаграмма Ганта и метод критического пути (СРМ). В последние годы, найдено еще одно применение BIM для поддержки планирования строительного производства, которое уже доказало свои преимущества по сравнению с традиционными инструментами [1,2]. Если соединить отдельные компоненты 3D модели здания с информацией календарного графика строительных работ, то получается 4D информационная модель здания (4D BIM).

Каждый проект здания уникален, но во многих проектах используются похожие работы, ресурсы, и профили стоимости. Если проекты имеют исторические подобию, то хорошо-разработанные документы, созданные для прошлых проектов, могут использоваться повторно как экономящие время шаблоны. Предлагается методика объединения данных, хранящихся в 3D BIM текущего проекта и данные прошлых проектов. Это позволит эффективней определять виды работ проекта, рассчитывать их длительности, применять правила упорядочения и, наконец, производить планирование и 4D график строительства.

Процесс автоматизированного планирования строительства с помощью BIM можно разделить на два метода:

- использование встроенных в BIM программу возможностей 4D проектирования;
- импорт 3D BIM и данных для календарного графика в специализированное 4D приложение.

Некоторые попытки автоматизировать процесс генерации графиков строительства для сокращения трудоемкости задачи были описаны в литературе. Kataoka [3], König и др. [4] занимались разработкой шаблонов строительных процессов. Представленные методы моделировали процессы строительных работ как шаблоны общего процесса и использовали их на основе связи с данными BIM. Mrkela и Rebolj [5] занимались созданием модели хранения данных на основе стандарта конкретного пользователя. Tauscher и др. [6] занимались созданием графиков на основе стандарта IFC, похожей работой занимались Kim и др. [7] на основе стандарта IFCXML.

Предлагаемая методика (рис. 1) состоит из пяти шагов:

1. Во время создания трехмерной модели определяются два общих параметра: ID работы и зона. Эти параметры должны применяться для всех категорий элементов здания. ID работы назначается для каждого элемента или группы элементов зданий и определяется таким же образом, как и ID работы в графике проекта. Понятие «зона» применяется для определения фазы или этапа строительства для всех элементов здания. Это способ установить

последовательность строительства, когда существует несколько зданий или требуется разделить большое здание на несколько меньших частей.

2. 3D модель здания экспортируется в программу Navisworks для извлечения количества различных компонентов модели здания. Наименования и количества компонентов затем экспортируются в MSExcel таблицы. Это позволяет анализировать количество компонентов на различных уровнях детализации информационной модели здания.

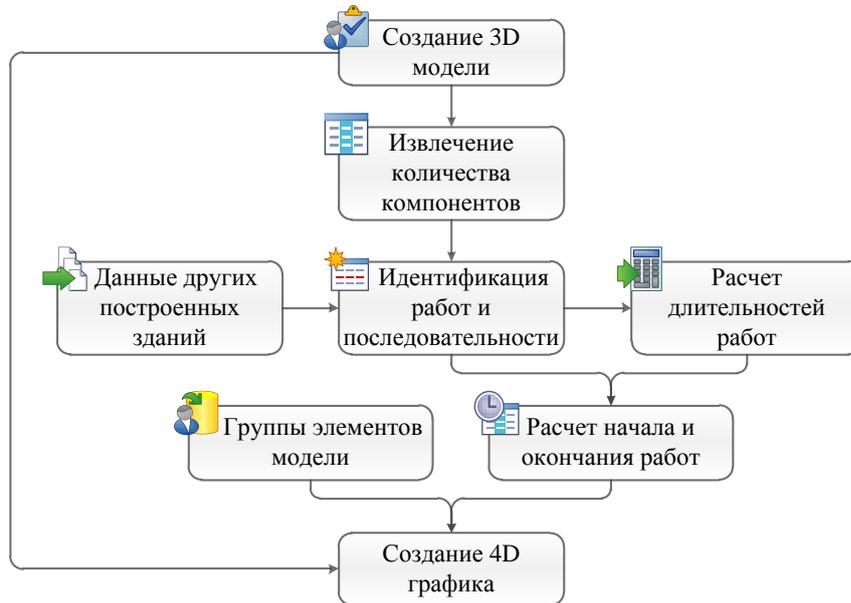


Рис. 1– Блок-схема предлагаемой методики

3. Для идентификации работ, их длительности и последовательности был разработан макрос, который применяется в MSExcel в целях автоматической реорганизации компонентов в иерархической структуре модели здания. Это позволяет определить все виды работ проекта строительства. Таблица видов работ связывается с другой таблицей исторических данных прошлых аналогичных проектов. Такая связь помогает назначить ресурсы, вычислить продолжительности работ при использовании прошлых норм выработки и определить логические отношения между ними.

4. Таблица видов работ импортируется в MSProject в формате CSV для расчета даты начала и даты окончания задач.

5. Таблица расчета начала и окончания работ в формате CSV импортируется в Navisworks. Одновременно в формате XML импортируются данные групп элементов модели, а также 3D BIM для создания 4D графика.

Данная методика была проверена на примере реального здания. Процесс возведения здания в зависимости от даты календарного графика показан на рис. 2 и 3.

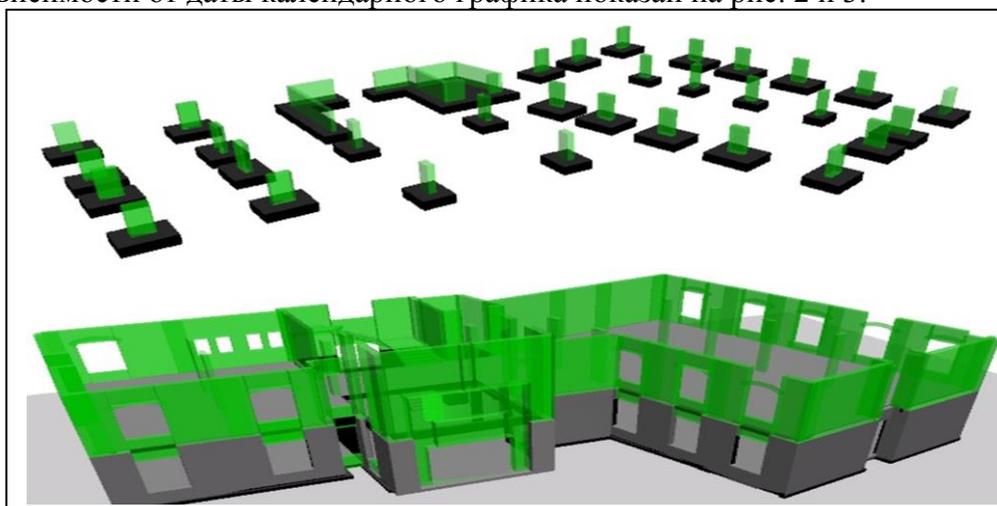


Рис. 2– 4D график проекта

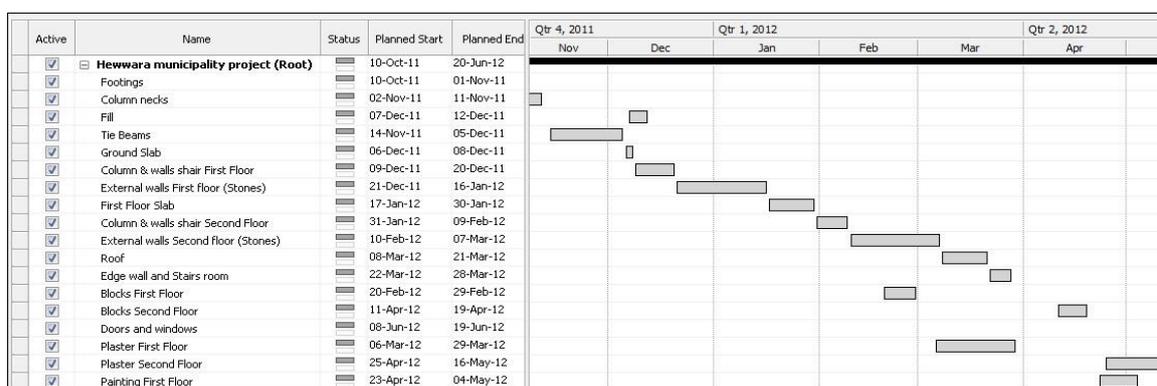


Рис. 3– Календарный график проекта

Предложенная методика объединяет возможности программных пакетов и предлагает новый подход к автоматизированному формированию параметров работ на основе связи с базой данных аналогичных проектов. Для реализации данной методики используется макрос MS Excel, который разработан для решения задачи структуризации и связи данных различных проектов.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (грант Президента РФ №14.Z57.14.6545-НШ).

Список литературы

1. Волков А.А. Современные и перспективные информационные технологии в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – №9. – С. 5–6.
2. Игнатова Е.В. Решение задач на основе информационной модели здания // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – 2012. – №9. – С.241–246.
3. Kataoka M. Automated generation of construction plans from primitive geometries // Journal of Construction Engineering and Management. – 2008. – vol. 134 (8). – pp. 592-600.
4. König M., Habenicht I., Koch C. Intelligent BIM-Based Construction Scheduling Using Discrete Event Simulation // Simulation Conference (WSC). – Proceedings of the 2012 winter. – Berlin, Germany.
5. Mrkela A., Rebolj D. Automated construction schedule creation using project information model // Paper presented at the CIB W78 Conference. – Managing IT in Construction. – 2009. – Istanbul, Turkey.
6. Tauscher E., Mikulakova E., Beucke K. Automated generation of construction schedules based on the IFC object model // Computing in Civil Engineering. – 2009. – pp. 666-675.
7. Kim H., Anderson K., Lee S. Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology // Journal of Automation in Construction. – 2013. – vol. 35. – pp. 285–295.

05.16.02

А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова, И.В. Терентьева

ТОО «КазГидроМедь», г. Караганда, Республика Казахстан, irina_ter64@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ МЕДИ ИЗ СМЕШАННЫХ РУД
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАСКОРА**

В статье рассмотрен метод переработки смешанных руд месторождения Таскора, включающий флотацию руды с получением кондиционного концентрата с извлечением меди 20,6 % и сернокислотное выщелачивание хвостов контрольной флотации с получением продуктивного раствора с извлечением в него меди 84,5 – 85,2 %.

Выщелачивание проводили раствором серной кислоты с концентрацией 60-80 г/дм³ в течение 2- 4 часов при содержании 60,0 – 90,0 % твердого в пульпе.

Ключевые слова: *смешанная руда, флотация, выщелачивание, раствор, извлечение.*

На горнодобывающих предприятиях зачастую накапливается значительное количество труднообогатимых окисленных и смешанных медных руд, флотационное обогащение которых неэффективно.

Известные технологии обогащения окисленных и смешанных руд основаны на сульфидизации окисленных минералов меди и флотация их сульфгидрильными собирателями совместно (коллективная флотация) или отдельно (селективная флотация) с сульфидами.

Сложность обогащения смешанных руд обусловлена также непостоянством состава руд, каолинизацией и серитизацией вмещающих пород и различием флотационных свойств разных минералов меди.

В ряде работ [1-4] исследованы способы переработки смешанных руд с получением флотационного концентрата.

Так, в работе [4] приведен способ переработки смешанных медных руд, включающий дробление и измельчение руды. Затем ведут выщелачивание измельченной руды раствором серной кислоты с концентрацией 10-40 г/дм³ при перемешивании, содержании твердой фазы 10-70 %, продолжительностью 10-60 минут. После выщелачивания проводили обезвоживание и промывку кека. Жидкую фазу выщелачивания руды объединяли с промывными водами и освобождали объединенный медьсодержащий раствор от твердых взвесей. Из медьсодержащего раствора извлекали медь с получением катодной меди. Проводили флотацию медных минералов из кека выщелачивания при значении pH 2,0-6,0 с получением флотационного концентрата.

В работе [2] проведены лабораторные исследования при разработке технологической схемы переработки руд Удоканского месторождения. В результате определены основные параметры технологического процесса, такие как: необходимая крупность измельчения по стадиям, расходы реагентов, время коллективной флотации, pH выщелачивания, время выщелачивания, крупность помола перед сульфидной флотацией, число перечистных операций и время флотации. Авторами работы [2] установлено, что технологическая схема обеспечивает получение качественных товарных продуктов с высокими показателями извлечения из сульфидных, смешанных и окисленных руд Удоканского месторождения, что, в свою очередь, позволяет вести переработку всех технологических типов руд по единой технологической схеме.

В [3] приведен способ обогащения смешанных медных руд месторождения Удокан, включающий измельчение руды до 60 % класса -0,074 мм, две основные и одну контрольную флотации, доизмельчение и четырехкратные перечистки грубого концентрата II основной

флотации, доизмельчение и перефлотацию промпродукта. Использовался реагентный режим: сернистый натрий, бутиловый ксантогенат, углеводородное масло, Т-66 или ОПСБ.

На медном комбинате Чингола [1], принята технологическая схема смешанных руд, где хвосты сульфидной флотации после сгущения (0,4 % меди) и материал отвалов после измельчения при содержании 40-43 % твердого в пульпе поступают на двухстадийное выщелачивание с пневматическим перемешиванием пульпы. Пульпу после I стадии выщелачивания подвергают сгущению. Сгущенный продукт направляется на II стадию выщелачивания более крепким раствором серной кислоты, после чего нерастворимый остаток промывается отработанными растворами, полученными в процессе экстракции (рафинатом), в сгустителях с направлением выделенного осветленного раствора для использования в качестве оборотного. Сгущенный материал нейтрализуется известью и направляется в хвостохранилище. Экстракция меди осуществляется в контактных аппаратах, работающих по принципу противотока с применением в качестве экстрагента реагента LIX -64 в виде 20 % раствора в керосине. После реэкстракции меди из органической фазы полученный раствор поступает на электролиз [1].

Авторами настоящей работы проведены исследования, направленные на повышение извлечения ценных компонентов из смешанных руд и уменьшение расхода реагента.

Исследования проводили на пробе окисленной руды месторождения Таскора (Жезказган, Казахстан).

Основными рудными минералами окисленных руд месторождения Таскора являются: малахит, азурит, хризоколла, халькозин, ковеллин, борнит, халькопирит; второстепенными – пирит, блеклая руда, самородная медь, гидроокислы железа. Основными нерудными минералами являются кварц, алюмосиликаты (силлиманит, анортит), доломит гипс и кальцит. Из-за низких показателей извлечения окисленные руды признаны труднообогатимыми и отнесены к забалансовым.

Результаты изучения вещественного состава руды показали, что содержание меди в окисленной форме составляет 53 % отн. и в сульфидной форме – 38 % отн.

Результаты химического анализа пробы представлены в таблице 1. Результаты фазового анализа пробы месторождения Таскора на формы нахождения меди и железа приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты химического анализа пробы окисленной руды месторождения Таскора

Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
Cu	0,81	Ni	0,0029
Fe	2,03	Co	0,00093
CaO	17,64	As	<0,03
MgO	5,58	Sb	<0,002
Al ₂ O ₃	6,18	Cl	<0,05
K	0,64	SiO ₂	25,34
Na	1,32	S _{общ.}	5,74
Zn	0,019	S _{SO4}	5,70
Mo	0,0012	CO ₃	2,90
Mn	0,24	Ац, г/т	0,06
Cd	<0,001	Ag, г/т	9,9

Таблица 2 – Результаты фазового анализа на формы нахождения меди и железа в пробе

Формы нахождения металла	Содержание, %	
	абс.	отн.
Медь		
Водорастворимые соединения (халькантит)	<0,2 (0,07)	8,8
Кислородсодержащие соединения (малахит, хризоколла, куприт, тенорит)	0,43	53,7
Вторичные сульфиды (ковеллин, халькозин, борнит)	0,22	27,5
Первичные сульфиды (халькопирит, блеклые руды, а также медь, тонковкрапленная в труднорастворяемые формы вроде кварца, пирита и др.)	<0,2 (0,08)	10,0
Итого:	0,80	100,0
Железо		
Двухвалентное (сидерит)	1,18	59,6
Трехвалентное (гидроокислы железа, гематит)	0,71	35,9
Сульфидные формы (пирит, халькопирит, борнит, пирротин)	<0,2 (0,09)	4,5
Итого:	1,98	100,0

Измельчение руды проводили до крупности 82-85 % класса минус 0,071 мм, которая направлялась на флотацию выделения сульфидного концентрата из смешанных медных руд, состоящую из основной флотации, трех перечисток концентрата основной и контрольной флотации. При флотации применяли реагенты – изобутиловый ксантогенат (собиратель), МВС (пенообразователь). На флотацию сернистый натрий не подавался.

В результате содержание меди в полученном концентрате составило 23,34 % с извлечением в медный концентрат – 20,6 %.

Хвосты флотации, полученные при обогащении руды, с содержанием меди 0,64-0,65 %, из которой 85-86 % (отн.) было представлено окисленными минералами, подвергались выщелачиванию серной кислотой в течение 2-4 часов, при содержании 60-90 % твердого в пульпе и начальной концентрации кислоты 60-80 г/дм³. Извлечение меди в раствор составило 84,5-85,2 %.

Выщелачивание хвостов флотации с содержанием 60-90 % твердого в пульпе способствует хорошему перемешиванию и обеспечивает самоочищение. Исследовали влияние продолжительности выщелачивания в течение 2, 3 и 4 часов. Результаты выщелачивания представлены в таблицах 3-5.

Таблица 3 – Результаты выщелачивания в зависимости от плотности пульпы и концентрации кислоты в течение 2 часов

Плотность пульпы, %	Концентрация, г/дм ³		Извлечение окисленных медных минералов, %
	H ₂ SO ₄ нач.	Cu	
60	60	1,65	81,52
70	60	1,76	82,85
80	60	1,85	82,90
90	60	1,91	83,52
60	70	2,01	84,01
70	70	2,02	84,22
80	70	2,10	84,36
90	70	2,11	84,46
60	80	2,15	84,45
70	80	2,15	84,50
80	80	2,16	84,49
90	80	2,17	84,49

Таблица 4 – Результаты выщелачивания в зависимости от плотности пульпы и концентрации кислоты в течение 3 часов

Плотность пульпы, %	Концентрация, г/дм ³		Извлечение окисленных медных минералов, %
	H ₂ SO ₄ нач.	Cu	
60	60	1,85	83,52
70	60	1,94	83,65
80	60	1,98	83,95
90	60	1,98	84,34
60	70	2,12	84,50
70	70	2,20	84,96
80	70	2,25	85,20
90	70	2,22	84,98
60	80	2,21	85,00
70	80	2,22	85,10
80	80	2,23	85,11
90	80	2,24	85,15

Таблица 5 – Результаты выщелачивания в зависимости от плотности пульпы и концентрации кислоты в течение 4 часов

Плотность пульпы, %	Концентрация, г/дм ³		Извлечение окисленных медных минералов, %
	H ₂ SO ₄ нач.	Cu	
60	60	2,20	82,52
70	60	2,21	82,68
80	60	2,21	83,56
90	60	2,22	83,99
60	70	2,23	84,55
70	70	2,23	84,96
80	70	2,23	85,16
90	70	2,24	85,14
60	80	2,24	85,11
70	80	2,24	85,09
80	80	2,24	85,05
90	80	2,24	85,04

Извлечение меди из раствора составило 84,50 %, при плотности пульпы 70% твердого и начальной концентрации серной кислоты 80 г/дм³. Жидкую фазу выщелачивания объединяли и осветляли. Экстракцию и электролиз меди из растворов проводили известными методами, раствором органического экстрагента LIX 984N.

Выводы

Проведены лабораторные исследования по извлечению меди из смешанных руд месторождения Таскора с содержанием меди в окисленной форме 53% отн. и в сульфидной форме – 38% отн.

В результате рассмотрены основные параметры технологического процесса, такие как: необходимая крупность измельчения по стадиям, расходы реагентов при флотации руды с получением кондиционного концентрата с содержанием меди 23,34 %, извлечением 20,6 %.

Хвосты флотации, полученные при обогащении руды, с содержанием меди 0,64-0,65 %, подвергались выщелачиванию серной кислотой в течение 2-4 часов, при содержании 60-90 % твердого в пульпе и начальной концентрации кислоты 70-80 г/дм³. Извлечение меди в раствор составило 84,5-85,2 %.

Список литературы

1. *Абрамов А.А.*, Технология обогащения окисленных и смешанных руд цветных металлов. Москва, Недра, 1986, 115-116 с.
2. *Лапшин Д.А., Простакишин М.Ф., Золотарев В.Н., Храпцова И.Н.*, Разработка технологии переработки руд Удоканского месторождения. Часть 1. Лабораторные исследования по определению основных технических решений // Цветные металлы, 2014. - №8. – С. 8-11.
3. *Митрофанов С.И., Базанова Н.М.*, Совершенствование схемы и режима обогащения Удоканских медных руд. // Цветные металлы, 1981, №3. – С. 74-77.
4. *Назимова М.И., Травников В.Н., Травникова О.Н., Крылова Л.Н., Адамов Э.В.*, Патент RU № 2418872. Способ переработки смешанных медных руд.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

А.Р. Абдуллаев, Е.В. Конопацкая, Э.В. Плехова
О ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ ОПЕРАТОРЕ ВТОРОГО
ПОРЯДКА С СИНГУЛЯРНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ

Ключевые слова: радиальное уравнение Шредингера, оператор Чезаро, положительные операторы, коэффициент сюръективности.

Рассматривается линейный оператор $B: L_2[0, T] \rightarrow L_2[0, T]$, $B = I + m(C_0 - C_1)$, где C_0, C_1 – операторы Чезаро, m – действительная константа. Этот оператор является главной частью сингулярного дифференциального оператора $Ax = x'' + \frac{m}{t^2}x$. Найдены условия положительной определенности оператора B , а также эффективные оценки коэффициента сюръективности этого оператора в зависимости от значений параметра m .

A.R. Abdullaev, E.V. Konopackaya, E.V. Plehova
ON THE SECOND ORDER DIFFERENTIAL
OPERATORS WITH SINGULAR POTENTIALS
Keywords: radial Schrödinger equation, Cesaro operator, positive operators, the surjective coefficient.
A linear operator $B: L_2[0, T] \rightarrow L_2[0, T]$, $B = I + m(C_0 - C_1)$, where C_0, C_1 – Cesaro operator, m – real constant was considered. This operator is a main part of singular operator $Ax = x'' + \frac{m}{t^2}x$. The conditions of positive definition of operator B and effective estimations of surjectivity coefficient of the operator as a function of value of m were found

В.В. Дружинин, А.Г. Сироткина
ДОКАЗАТЕЛЬСТВО БЕСКОНЕЧНОГО
КОЛИЧЕСТВА ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ ВИДА $(n^2 + 1)$

Ключевые слова: задача Эдмунда Ландау, двойное решето Эратосфена, функция Эйлера.

Методом двойного решета Эратосфена и модифицированной функции Эйлера, дающей число не удаленных чисел при наложении системы арифметических прогрессий, доказано, что количество простых чисел вида $p = (n^2 + 1)$ бесконечно. Приведены формулы плотности таких простых чисел и проверочные расчеты.

V.V. Druzhinin, A.G. Sirotkina
PROOF OF AN INFINITE NUMBER OF PRIMES OF
THE FORM $(n^2 + 1)$

Keywords: task Edmund Landau, double sieve of Eratosthenes, the Euler function.

The method of double sieve of Eratosthenes and the modified Euler function, which gives the number of non-deleted numbers when applying the system of arithmetic progressions, it is proved that the number of primes of the form $p = (n^2 + 1)$ is infinite. Formulas density of prime numbers and checking calculations.

М.В. Радионова
К ВОПРОСУ О РАЗЛИЧИИ ПОКАЗАТЕЛЬНОГО
И ПОЛУНОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Ключевые слова: критерий согласия, мощность, экспоненциальное распределение, полунормальное распределение.

В работе найдено распределение инвариантов по выборке из генеральной совокупности, имеющей полунормальное распределение. На основе критерия сдвига-масштабного инварианта проведена проверка гипотезы о том, совокупность имеет показательное распределение против альтернативы, что совокупность имеет полунормальное распределение. Методом статистического моделирования проведен анализ мощности критерия. Дан сравнительный анализ этого критерия с критерием Колмогорова-Смирнова.

M.V. Radionova
TO THE QUESTION ABOUT THE DISTINCTION
BETWEEN EXPONENTIAL AND HALF-NORMAL
DISTRIBUTIONS

Keywords: goodness-of-fit test, power, exponential distribution, half-normal distribution.

The author found the distribution of invariants sample of the general population with half-normal distribution. On the basis of the criterion of shift-scale invariant conducted to test the hypothesis that the set has an exponential distribution against the alternative that the population has a half-normal distribution. The statistical modeling analysis conducted a power. The paper is a comparative analysis of this criterion with the Kolmogorov-Smirnov criterion.

А.А. Роговой, Н.К. Салихова
КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОСАДКИ
СТАЛЬНОГО СЛИТКА

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, конечно-элементное моделирование, заготовка из стали марки 30 ХГСА.

Представлены результаты численного моделирования процессов осадки стальной заготовки и ее

A.A. Rogovoy, N.K. Salikhova
FINITE-ELEMENT SIMULATION OF THE UPSET
FORGING TECHNOLOGICAL PROCESS FOR
STEEL INGOT

Keywords: stress-strain state, finite-element modeling, 30HGSA-grade steel ingot.

The paper presents the results of numerical simulation the process technology of steel ingot upset forging and subsequent unloading. The calculation has been

последующей разгрузки. Расчет проведен на базе конечно-элементного программного комплекса SIMULIA/Abaqus. Исследована точность полученных результатов в зависимости от числа конечных элементов.

performed using the SIMULIA/Abaqus software. Accuracy of obtained results has been analyzed versus number of finite elements.

Л.Р. Фахрутдинов
АЛГОРИТМ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЕЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ
ГИПЕРУПРУГИХ ТЕЛ

Ключевые слова: гиперупругие материалы, конечные деформации, метод конечных элементов, резиноподобные материалы.

В работе описана методика исследования трехмерных тел из гиперупругих материалов с использованием меры деформации Фингера. Дается кинематика движения среды, напряженное состояние описывается тензором истинных напряжений Коши – Эйлера. Большое внимание уделено алгоритму получения линеаризованных физических соотношений в напряжениях Коши – Эйлера. Рассмотрен пример получения линеаризованных физических соотношений в напряжениях Коши – Эйлера для материала, описываемого потенциалом Муни – Ривлина. Численная реализация основана на методе конечных элементов в рамках инкрементального метода.

L.R. Fakhrutdinov
ALGORITHM AND RESULTS OF NUMERICAL
RESEARCH OF FINITE DEFORMATIONS OF
HYPERELASTIC SOLIDS

Keywords: hyperelastic materials, finite deformations, finite element analysis, rubbery materials.

In the present paper the technique of investigation of large deformations using the Finger strain measure is considered. The kinematics of motion of continua is given; the stress state is described by the Cauchy – Euler tensor of the true stresses. Great attention is paid to obtain the algorithm of the linearized constitutive equations in terms of the Cauchy - Euler stresses. Also there is an example of obtaining the linearized physical ratio in the Cauchy - Euler stresses for material, which described by Mooney - Rivlin potential. The numerical implementation is based on the finite element method within the framework of incremental methods.

Е.А. Черноиванова, П.А. Шаманаев
КЛАССИФИКАЦИЯ И АСИМПТОТИЧЕСКАЯ
ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ И
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
УРАВНЕНИЙ

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, дифференциально-функциональные уравнения, асимптотические свойства решений.

В статье решается проблема классификации дифференциальных уравнений на основе асимптотических свойств решений, кроме того, исследуются дифференциально-функциональные уравнения, для которых уравнениями сравнения являются обыкновенные дифференциальные уравнения.

E.A. Chernoiwanova, P.A. Shamanaev
CLASSIFICATION AND ASYMPTOTIC
EQUIVALENCE OF DIFFERENTIAL AND
DIFFERENTIAL-FUNCTIONAL EQUATIONS

Keywords: differential equations, differential-functional equations, asymptotic properties of solutions.

In this article we solve the problem of classification of differential equations on the basis of asymptotic properties of the solutions, in addition, we investigate the differential-functional equations, for which equations are ordinary differential equations.

В.Н. Авдащенко, Я.А. Васина,
Ю.А. Стринадкина, С.В. Кузнецов
СИНТЕЗ ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ
БИОСОВМЕСТИМЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

Ключевые слова и словосочетания: адсорбция, гидроксипатит, точка нулевого заряда, растворимость, спекаемость.

Изучены некоторые свойства гидроксипатита, полученного методом осаждения из щелочного раствора: термическая устойчивость, точка нулевого заряда (pH_0), растворимость в средах с различной кислотностью.

V.N. Avdashenko, Ya.A. Vasina,
Yu.A. Strinadkina, S.V. Kuznetsov
SYNTHESIS OF HYDROXYAPATITE FOR
BIOCOMPATIBLE CERAMIC MATERIALS AND
STUDY ITS PROPERTIES

Keywords and phrases: adsorption, hydroxyapatite, point of zero charge, solubility, sintering behavior. Studied some properties of hydroxyapatite obtained by precipitation from alkaline solution: thermal stability, the point of zero charge (pH_0), solubility in environments with different acidity.

О.И. Бахирева, А.Е. Пластинина, А.А. Циппер,
М.А. Шишкин, А.В. Басов, С.А. Иларионов, В.Н. Басов
СОПРЯЖЕННЫЙ МЕТОД ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ
ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ключевые слова: Избыточный активный ил, фермент

O.I. Bahireva, A.E. Plastinina, A.A. Cipper,
M.A. Shishkin, A.V. Basov, S.A. Ilarionov, V.N. Basov
CONJUGATE METHOD OF NEUTRALIZATION
SURPLUS SLUDGE BIOLOGICAL TREATMENT
PLANTS

Keywords: surplus sludge, peroxidase enzyme,

пероксидаза, иммобилизация, глауконит, дезодорация, снижение токсичности, сопряженный метод.

В работе представлены результаты исследования возможности обезвреживания избыточного активного ила сопряженным методом. Изучены закономерности процессов дезодорации избыточного активного ила с применением фермента пероксидазы и снижения содержания ионов тяжелых металлов с использованием глауконита. Оценку токсичности проб проводили с использованием измерительного прибора «Биотокс-10» и тест-объекта «Эколюм». Показано что сопряженный метод является эффективным и значительно понижает токсичность образцов.

О.И. Бахирева, Ю.А. Попова, А.А. Циппер, А.В. Басов, С.А. Иларионов, В.Н. Басов
СОРБЦИОННО–ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Ключевые слова: ионы тяжелых металлов, фенол, глауконит, пероксидаза, ферментативное окисление, иммобилизация.

В работе представлены результаты изучения очистки сточной воды от ионов тяжелых металлов и фенола при их совместном присутствии сопряженным методом. Установлена возможность использования для этой цели фермента пероксидазы, выделенного из корней хрена, способного окислять фенол. Иммобилизация его на глауконите с добавлением перекиси водорода для ускорения реакции позволяют проводить эффективную очистку до уровня ПДК.

П.А. Катасонов, Д.С. Мартемьянов
АДСОРБЦИЯ КАТИОНОВ СВИНЦА НА МАГНЕТИТЕ, ПОЛУЧЕННОМ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Ключевые слова: адсорбционная очистка; магнетит; изотерма Ленгмюра.

Получены уравнения изотермы и кинетики адсорбции катионов Pb^{2+} из водной среды при 25 °С на магнетите, синтезированном плазменно-электролитическим диспергированием углеродистых сталей. Достигнуто полное извлечение свинца из модельного раствора. Установлены условия, при которых происходит регенерация данного сорбента.

Г.В. Абакумов, В.А. Бузин, Е.И. Макаров
ФОРМИРОВАНИЕ РЕСУРСА МАСЛЯНЫХ ФИЛЬТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПЕРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ключевые слова: фильтрующие элементы; ресурс; автомобильные двигатели.

В статье рассматриваются факторы, влияющие на ресурс фильтрующих элементов двигателей. Представлена концепция формирования реализуемого ресурса фильтрующих элементов двигателей. Представлены графики моделей. Рассмотрены закономерности, формирующие ресурс элементов автомобиля при переменных условиях и интенсивности эксплуатации.

immobilization, glauconite, deodorization, reduced toxicity, the conjugate method.

The paper presents the results of research possibility neutralization surplus sludge conjugate method. The regularities of the processes deodorizing surplus sludge using a peroxidase enzyme and reduce the content of heavy metal ions using glauconite. Assess the toxicity of trial was carried out using a measuring instrument "Biotoks-10" and the test object "Ekolyum". It was shown that the conjugate method is effective and significantly reduces the toxicity of the samples.

O.I. Bahireva, U.A. Popova, A.A. Cipper, A.V. Basov, S.A. Ilarionov, V.N. Basov
SORPTION-ENZYMATIC METHOD OF WASTEWATER TREATMENT

Keywords: heavy metal ions, horseradish peroxidase, phenol, glauconite, enzymatic oxidation, immobilization. The paper presents the results of a study of cleaning waste water from ions of heavy metals and phenol, both occurred, by the conjugate method. For this purpose it was possible to use the enzyme peroxidase, extracted from horseradish roots, which is able to oxidize phenol. Immobilization of the enzyme on the glauconite with the addition of hydrogen peroxide, to accelerate the reaction, allows carrying out effective cleaning to the level of the MPC.

P.A. Katasonov, D.S. Martemjanov
LEAD CATION ADSORPTION ONTO MAGNETITE THAT WAS OBTAINED BY PLASMA-ELECTROLYTIC ATOMIZATION OF CARBON STEELS

Keywords: adsorption cleaning, magnetite, Langmuir isotherm.

Lead cation adsorption isotherm and kinetics equations for magnetite that was synthesized by plasma-electrolytic atomization of carbon steels were obtained. Undetectable lead concentration in initial solution was reached. Conditions for sorbent regeneration were established.

G.V. Abakumov, V.A. Buzin, E.I. Makarov
OIL STRAINERS RESOURCE FORMING OF ENGINES UNDER VARIABLE OPERATION CONDITIONS

Key words: filtering element; resource; motorcar engines.

In the article, factors that influence engine filtering elements resource are considered. A conception of the realizable resource forming of engines filtering elements is presented. Diagrams of models are figured. Regularities that form automobile elements resource under variable conditions and operation rate are considered.

Б.А. Адамович, В.А. Вестяк

ПРОБЛЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА МАРСЕ

Ключевые слова: система жизнеобеспечения, регенерация, растения, метановый реактор, минерализация.

В настоящей статье рассматриваются проблемы жизнеобеспечения людей на Марсе. Рассказывается о возможных способах регенерации и воспроизводства продуктов жизнедеятельности. Достаточно подробно описываются особенности марсианских оранжерей и приводятся сведения о радиационной стойкости растений.

В.И. Ампилов

ДИДАКТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОННЫХ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Ключевые слова: мобильное приложение, методические компоненты, электронная документация, детали.

Статья посвящена вопросам разработки дидактических компонент системы управления данными об изделии (PDM). Предлагаемое мобильное приложение может рассматриваться в качестве средства оперативного доступа к базе данных методических материалов. Представлен алгоритм доступа к методическим материалам сайта PDM-tutor и порядок обновлений электронных документов.

И.И. Антонова, С.Ф. Хасанова

ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ КРИТЕРИЕВ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРЕМИИ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА

Ключевые слова: корреляция, корреляционный анализ, EFQM, премия по качеству, критерии, совершенствование системы оценки.

В работе проведен статистический анализ экспертных оценок критериев модели национальной премии в области качества, полученных предприятиями промышленного и образовательного секторов по итогам работы за 2013 года. Полученные выводы показывают, что используемая модель достаточно эффективна и объективна для компаний промышленного сектора, однако при оценке образовательных учреждений необходимо учесть специфику деятельности образовательных учреждений, так как компетентность персонала и в особенности преподавательского состава играет главенствующую роль в эффективности функционирования образовательной организации.

А.В. Базанов, В.И. Бауэр, Е.С. Козин, М.В. Немков, А.А. Мухортов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В НЕФТЕПРОВОДНОЙ ОТРАСЛИ

Ключевые слова: эксплуатация автомобилей, спецтехника, магистральный нефтепровод.

В статье обоснована необходимость реализации оптимального подхода к технической эксплуатации автомобилей и специальной техники для каждого

B.A. Adamovich, V.A. Vestyak

PROBLEMS OF LIFE-SUPPORT ON MARS

Keywords: life support, regeneration, plants, alga, methan-reactor, mineralization.

In article problems of life-support of people on a planet Mars are considered. It is told about possible ways of regeneration and reproduction of products ability to live. Features of Martian greenhouses are in detail enough described and data on radiating firmness of plants are resulted.

V.I. Ampilov

DIDACTIC COMPONENTS OF THE SYSTEM FOR DEVELOPMENT OF ELECTRONIC TECHNICAL DRAWINGS OF SPARE PARTS

Key words: mobile application, methodological components, spare parts.

The article focuses on matters of developing didactic components for product data management (PDM) system.

The proposed mobile application may be considered as a tool for on-line access to the database of learning and reference materials.

The algorithm for accessing to learning and reference materials of PDM-Tutor web site is presented and electronic library update procedure is discussed.

I.I. Antonova, S.F. Hasanova

IDENTIFICATION OF INTERRELATIONS OF CRITERIA OF A NATIONAL AWARD OF THE GOVERNMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE FIELD OF QUALITY

Keywords: Correlation, the correlation analysis, EFQM, award of quality, criteria, improvement of system of an assessment.

This work shows the carried-out statistical analysis of expert estimates of the criteria of model of a national award in the field of quality received by the enterprises of industrial and educational sectors following the results of work for 2013. The received conclusions show that the used model is rather effective and objective for the companies of industrial sector, however at an assessment of educational institutions it is necessary to consider specifics of activity educational institutions, because competence of the personnel and the teaching staff in particular which is directly contacting to students plays the predominating role in efficiency of functioning of the educational organization.

A.V. Bazanov, V.I. Bauer, E.S. Kozin, M.V. Nemkov, A.A. Mukhortov

IMPROVING THE EFFICIENCY OF TECHNICAL EXPLOITATION OF VEHICLES AND SPECIAL TECHNICS IN THE PIPELINE INDUSTRY

Keywords: operation of vehicles, special technics, the main oil pipeline.

In this article the necessity of implementing the optimal approach to the technical operation of vehicles and special vehicles for each of the territorial department of main oil pipelines was proved. With provided list of

территориального управления магистральных нефтепроводов. По представленному перечню факторов разработана классификация управлений магистральных нефтепроводов с применением метода кластерного анализа.

А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, М.М. Мухаметдинов
К ВОПРОСУ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА УСЛОВИЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИВОДА КОЛЁС
АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ

Ключевые слова: системный подход, привод колёс, главная передача, дифференциал.

В работе дана оценка влияния факторов, определяющих условия эксплуатации грузовых автомобилей КАМАЗ и показана необходимость их системного анализа. Приведены примеры неисправностей и отказов деталей привода колёс, подтверждающие важность учёта воздействия различных эксплуатационных факторов. Представлены двухпараметрические зависимости конструктивных и эксплуатационных параметров привода колёс от условий эксплуатации.

С.С. Беляев, Г.П. Жигулин
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ UMTS
КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ
СИСТЕМАМИ

Ключевые слова: прогнозирование, система управления, информационная безопасность, сотовые сети, моделирование.

В статье рассматривается задача прогнозирования состояния каналов передачи данных с коммутацией пакетов сотовых сетей мобильной связи третьего поколения. Предложена прогнозная модель, основанная на корреляции между параметрами радиоканала и показателями процесса информационного обмена. Приводятся результаты экспериментального исследования, позволяющие оценить параметры модели для ее практического применения.

Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, М.В. Ильин
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ СКОРОСТИ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВКЛЮЧЕННОГО
СОСТОЯНИЯ В ТИРИСТОРЕ

Ключевые слова: тиристор, управляющий электрод, скорость распространения включенного состояния, плотность тока, моделирование, диаметр шунтов, электронно-дырочное рассеяние и Оже-рекомбинация, время жизни.

В статье рассматриваются результаты исследования зависимостей линейной скорости распространения включенного состояния от плотности тока в открытом состоянии тиристоров при вариации величин их электрофизических и геометрических параметров. Исследования проведены на основе моделирования процесса включения тиристоров в программной среде Synopsys TCAD.

А.П. Буйносов, Д.С. Денисов
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА КОЛЕСНЫХ
ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ 2ЭС10 С РАЗЛИЧНОЙ
МАРКОЙ БАНДАЖЕЙ

factors the classification of departments of main oil pipelines using the method of cluster analysis was developed.

A.Yu. Barykin, R.R. Basyrov, M.M. Mukhametdinov
TO THE QUESTION OF SYSTEM ANALYSIS OF
THE OPERATING CONDITIONS OF THE DRIVE
WHEELS OF KAMAZ VEHICLES

Keywords: a systematic approach, the drive wheels, main gear, differential

The paper gives an assessment of the impact of the factors determining the conditions of KAMAZ trucks and shown the need for system analysis. Examples of malfunctions and failures of parts of the drive wheels, confirming the importance of considering the effects of various operating factors. Presents two-parameter dependence of structural and operational parameters of the drive wheels environments.

S.S. Belyaev, G.P. Zhigulin
FORECASTING OF STATUS OF MOBILE SYSTEMS
CONTROL UMTS CHANNEL

Keywords: forecasting, control system, information security, cellular network, modeling.

The paper is concerned with the problem of status forecasting of third generation cellular network packet switching data transmission channels. The forecasting model based on correlation between radio channel parameters and data transmission process indicators is offered. The results of experimental research allowing the estimation of forecasting model parameters necessary for its practical application are described.

N.N. Bepalov, Yu.V. Goryachkin, M.V. Ilyin
DEFINITION OF THE LINEAR PROPAGATION
VELOCITY OF ON STATE TO THE THYRISTOR

Keywords: thyristor, control electrode, the propagation velocity of on-state, current density, modeling, diameter grafts, electron-hole scattering and Auger recombination, lifetime.

The article discusses the results of the study of the linear propagation velocity of on-state of dependencies current density in the open state of the thyristors by varying the values of their electrophysical and geometric parameters. Investigations were carried out on the basis of modeling the process of thyristors in a software environment Synopsys TCAD.

A.P. Buinosov, D.S. Denisov
THE COMPARATIVE ANALYSIS OF WEAR OF
WHEELPAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES
2ES10 WITH VARIOUS BRAND OF BANDAGES

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, марка, износ, сравнение, анализ.

В статье приведены результаты сравнительного анализа износа бандажей колесных пар марки 2 и 4, различными профилями при эксплуатации электровозов 2ЭС10 на полигоне Свердловской и Западно-Сибирской железных дорогах.

А.П. Буйносов, А.М. Кислицын
УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБМЕРА
ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРИ ДВИЖЕНИИ
ЛОКОМОТИВА

Ключевые слова: локомотив, движение, колесная пара, параметр, обмер, система, канал, измерение.

В статье рассмотрены алгоритм и технические способы применения ультразвуковых измерительных каналов для обмера геометрических параметров колесных пар при движении локомотива на основе использования бесконтактных методов измерения.

А.П. Буйносов, И.О. Шепелева
СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛУЧЕННЫХ НА
МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ
СТАЛИ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР
ЭЛЕКТРОВОЗОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАМИ

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, сталь, упрочнение, модель, сравнение.

В статье приведены результаты сравнительного анализа параметров упрочнения сталей гребней бандажей колесных пар на модели и после проведения натурных экспериментов.

Т.В. Бурнышева
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕСТНОГО
ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ
АНИЗОГРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ключевые слова: летательные аппараты, математическая модель деформирования, анизогридные конструкции, дискретная модель.

Предложена математическая модель совместного деформирования реберной структуры, обшивки и усилений вырезов анизогридных конструкций космических летательных аппаратов при статическом нагружении.

Т.В. Бурнышева
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В
ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ
АНИЗОГРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ключевые слова: космические летательные аппараты, вычислительный эксперимент, анизогридные конструкции.

Предложены постановки задач и алгоритмы их решения для рационального проектирования, поверочного расчета и технической диагностики анизогридных конструкций космических летательных аппаратов при статическом нагружении с применением методологии вычислительного эксперимента.

Keywords: electric locomotive, wheelpair, bandage, brand, wear, comparison, analysis.

In article results of the comparative analysis of wear of bandages of wheelpairs brands 2 and 4, are given by various cross-sections at operation of electric locomotives 2ES10 in the proving ground the Sverdlovsk and West Siberian railroads.

A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn
ULTRASONIC MEASURING PORTS OF
AUTOMATIC SYSTEM FOR MEASUREMENT OF
PARAMETERS OF WHEELPAIRS AT THE
MOVEMENT OF THE LOCOMOTIVE

Keywords: locomotive, movement, wheelpair, parameter, measurement, system, port, measurement.

In article the algorithm and technical methods of application of ultrasonic measuring ports for measurement of geometrical parameters of wheelpairs at the movement of the locomotive on the basis of use of contactless methods of measurement are considered.

A.P. Buinosov, I.O. Shepeleva
COMPARISON OF RESULTS OF THE BANDAGES
OF WHEELPAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES
RECEIVED ON MODEL OF THERMAL PROCESS
OF PROCHNENIYA OF STEEL WITH
EXPERIMENTS

Keywords: electric locomotive, wheelpair, bandage, steel, hardening, model, comparison.

In article results of the comparative analysis of parameters of hardening staly ridges of bandages of wheelpairs are given in model and after carrying out natural experiments.

T.V. Burnysheva
MATHEMATICAL MODEL OF JOINT
DEFORMATION OF ELEMENT OF ANISOGRID
STRUCTURES OF SPACECRAFT

Keywords: aircraft, mathematical model of deformation, anisogrid structures, discrete model.

The mathematical model of joint deformation rib structure, sheathing and strengthening cut-out anisogrid construction of spacecraft at static loading is offered.

T.V. Burnysheva
APPLICATION OF THE METHODOLOGY OF
COMPUTING EXPERIMENT IN THE TASK OF
PROJECTION AND DIAGNOSIS OF ANISOGRID
STRUCTURES OF SPACECRAFT

Keywords: space craft, a computational experiment, anisogrid structures.

Statement of problem and algorithms to solve them using the methodology of computing experiment for the rational design and testing calculation of technical diagnostics of anisogrid structures of spacecraft at static loading are offered.

Л.В. Быков, П.В. Никитин, О.А. Пашков
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕРАВНОМЕРНОГО
СНОСЯЩЕГО ПОТОКА С КОНСТРУКЦИЕЙ
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ключевые слова: дирижабль, атмосферный порыв; численное моделирование; динамическая сетка; аэродинамические характеристики; вихревая структура.

В работе представлены результаты численного моделирования взаимодействия дирижабля, совершающего равномерное прямолинейное движение, с атмосферным порывом. Проанализировано изменение во времени суммарных и распределённых аэродинамических характеристик дирижабля на различных этапах взаимодействия с порывом. Сделаны выводы о влиянии геометрических параметров аппарата на изменения его аэродинамических характеристик, а также о целесообразности применения методов численного моделирования для решения подобных задач.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты 12-08-00145-а, 13-08-01328

Л.В. Быков, О.А. Пашков, А.А. Яковлев
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО
АППАРАТА С НЕСУЩИМ ФЮЗЕЛЯЖЕМ

Ключевые слова: самолет, несущий корпус, численное моделирование, компоновка, безотрывное обтекание, вихревая структура.

В работе представлены результаты расчета аэродинамических характеристик летательного аппарата с несущим фюзеляжем для разных компоновок. Сделаны выводы о достоинствах и недостатках рассматриваемых компоновок.

А.А. Волков, Б.И. Гиясов, П.Д. Чельшков, А.В. Седов,
Б.С. Стригин
ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ И
ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ
ЗДАНИЙ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ИХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, среда жизнедеятельности, строительство, энергоэффективность, энергосбережение, архитектура, инженерные системы зданий.

В работе рассмотрен комплексный подход к оптимизации энергоэффективности зданий, опирающийся на системное рассмотрение совокупности климатических, антропогенных, архитектурных и инженерных факторов.

В.В. Воронин
СИСТЕМНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ СИГНАЛОВ

Ключевые слова: оценка качества изображений, реконструкция, интерполяция, ошибка реконструкции, системный подход.

Разработан системный критерий оценки качества обработки двумерных сигналов применительно к задаче пространственно-временной реконструкции изображений, который учитывает вычислительные затраты и погрешность восстановления.

L.V. Bykov, P.V. Nikitin, O.A. Pashkov
SOLUTION OF THE PROBLEM OF UNSTEADY
CROSS-FLOW INTERACTION WITH THE
AIRCRAFT

Key words: dirigible, atmospheric rush; numerical modeling; dynamic mesh; aerodynamic characteristics; vortex structure.

The paper presents the results 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.

This work has been supported by grants 12-08-00145-a, 13-08-01328 from the Russian Foundation for Basic Research.

L.V. Bykov, O.A. Pashkov, A.A. Jakovlev
SOLUTION OF THE FLOW AIRCRAFT WITH
LIFTING FUSELAGE

Key words: aircraft, lifting fuselage, numerical simulation, layout, unseparated flow, vortex structure
The paper presents the results of the calculation of the aerodynamic characteristics of the aircraft with a monocoque fuselage for different layouts. Conclusions are drawn about the merits and drawbacks of the proposed arrangements.

A.A. Volkov, B.I. Giyasov, P.D. Chelyshkov,
A.V. Sedov, B.S. Strigin
ARCHITECTURE OPTIMIZATION AND
ENGINEERING OF MODERN BUILDINGS TO
IMPROVE THEIR ENERGY EFFICIENCY

Keywords: computer-aided design, living environment, construction, energy efficiency, energy conservation, architecture, engineering systems of buildings.

This paper presents the comprehensive approach to optimize the energy efficiency of buildings, based on consideration of the totality of the climatic system, man-made, architectural and engineering factors.

V.V. Voronin
SYSTEM QUALITY CRITERIA FOR
RECONSTRUCTED 2D SIGNAL

Keywords: assessment of image quality, reconstruction, interpolation, reconstruction error, a systematic approach.

A criterion for evaluating the quality of the system of two-dimensional signal processing applied to the problem of space-time image reconstruction is proposed. The system criterion takes into account the computational cost and error recovery.

В.А. Воронцов, Торрес Санчес Карлос Херардо
ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА СХЕМО-
ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МАЛЫХ
КОСМИЧЕСКИХ СПУСКАЕМЫХ АППАРАТОВ

Ключевые слова: малые спускаемые аппараты, космические аппараты (КА), проектирование КА, орбитальный аппарат.

В работе исследуется задача формирования схемно-технических решений малогабаритных автоматических космических спускаемых аппаратов (МАКСА) и его системы ввода в действие (СВД) для доставки полезной нагрузки на поверхность Земли. Выбраны схемотехнические признаки, позволяющие определить количество вариантов взаимосвязанных схемно-технических решений МАКСА и его СВД.

Д.М. Вохмин, Н.С. Захаров
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЯ НА
НАДЕЖНОСТЬ Форсунок ДИЗЕЛЬНОГО
ДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: надёжность, среднетехническая скорость, форсунка, наработка, ресурс.

В статье рассматривается вопрос взаимосвязи факторов условий эксплуатации автомобиля и надёжности форсунок двигателя. На основе данных об изменении параметров технического состояния по наработке рассмотрены вероятности сохранения регулировочных параметров в пределах допусков. Установлены наработки до достижения предельно допустимых значений в зависимости от факторов условий эксплуатации.

Д.Ф. Гайнутдинова, В.Я. Модорский, А.В. Козлова
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ОБЛАСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КАВИТАЦИИ ПРИ
ВИБРАЦИЯХ

Ключевые слова: кавитация, колебания, частота, амплитуда колебаний, взаимодействие в динамической системе «жидкость-подвижная стенка».

Представлены результаты численного моделирования кавитационного эффекта при вибрациях стенки в замкнутой трубе, заполненной жидкостью. Вибрационные нагрузки на рабочее тело моделируются движением поршня. Выявлена зависимость параметров кавитации от параметров вибрации. Построена область влияния амплитуды и частоты вибраций на концентрацию кавитационных пузырьков воздуха.

И.Б. Гинзбург
СОСТАВ И АРХИТЕКТУРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
МОДУЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО НАСЫЩЕННОГО
АВТОНОМНОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ
ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ РАЗЛИЧНЫХ
ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Ключевые слова: жизненный цикл изделий, клиентские приложения для систем поддержки жизненного цикла изделий, мобильные приложения, функционально насыщенные веб-приложения.

Предложенные состав и архитектура

V.A. Vorontsov, Torres Sanchez Carlos Gerardo
THE FEATURES SELECTION OF ENGINEERING
SOLUTIONS FOR SMALL-SIZED DESCENT
VEHICLES

Keywords: reentry vehicle, small spacecraft platform, orbiter, spacecraft design.

Nowadays is being explored the possibility of using development experience of build unified small platforms together with the delivery means to the Earth. In this work it is considered the problem of forming scheme-technical solutions of small unmanned reentry vehicles and its implementation, to deliver payload to the Earth's surface. Were taken in consideration the forming factors, that allows to determine a number of interrelated variants of technical solutions for small unmanned space landers and its implementation.

D.M. Vokhmin, N.S. Zakharov
INFLUENCE OF WORK VEHICLE JETS FOR
RELIABILITY

Keywords: reliability, technical secondary speed, nozzle, operating time, resource.

The article discusses the relationship of factors working conditions of the car and the reliability of the engine nozzles. On the basis of data on the parameters of technical condition, depending on the operating time are considered likely to remain adjusting parameters within the specified tolerances. Installed operating time to achieve the maximum permissible values depending on factors working conditions.

D.F. Gaynutdinova, V.Ya. Modorsky, A.V. Kozlova
COMPUTING MODELLING OF AREA OF
EMERGENCE OF CAVITATION AT VIBRATIONS

Keywords: cavitation, oscillations, frequency, amplitude of oscillations, interaction in dynamic "liquid - mobile wall" system.

Results of numerical modeling of cavitation effect at vibrations of a wall in the closed pipe filled with liquid are presented. Vibration loads of a working body are modelled by the movement of the piston. Dependence of parameters of cavitation on vibration parameters is revealed. The area of influence of amplitude and frequency of vibrations on concentration of cavitation vials of air is constructed.

I.B. Ginzburg
OFFLINE-CAPABLE RICH CLIENT WEB
APPLICATION MODULES COMPOSITION AND
INTERACTION ARCHITECTURE FOR
DISTRIBUTED AEROSPACE ENGINEERING LIFE
CYCLE INFORMATION SUPPORT SYSTEMS ON
DIFFERENT STAGES

Keywords: product lifecycle, client applications for product lifecycle information systems, mobile applications, rich web-applications.

The proposed offline-capable rich client web application modules composition and interaction architecture allow efficient use of this type of application as client

взаимодействия модулей функционально насыщенного автономного веб-приложения позволяют эффективно использовать данный вид приложений в качестве клиентских приложений в распределенных системах информационной поддержки различных этапов жизненного цикла аэрокосмической техники, одновременно решая задачи обеспечения кроссплатформенности, отказоустойчивости и автономности.

Е.В. Давыдова, Л.Б. Строгонова
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ
БЕЗОПАСНОСТИ ЭКИПАЖА ПИЛОТИРУЕМОГО
ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ НА ЭТАПЕ
ПОДГОТОВКИ К ПУСКУ

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация на старте, беспроводная сенсорная сеть, система аварийного спасения.

Практика реализации пилотируемых космических полетов показывает, что проблема обеспечения безопасности экипажей пилотируемых космических кораблей по мере усложнения программ полёта становится всё более актуальной и трудно реализуемой на практике. Основная проблема обеспечения безопасности сводится к тому, что ни увеличение дублирующих контуров систем, ни увеличение количества испытательных мероприятий, ни повышение ресурса систем не приводит к увеличению безопасности работы на стартовом комплексе. Первоочередная задача на пути решения данной проблемы – внедрение в практику космонавтики принципиально новых методов дистанционного мониторинга психофизиологического состояния и здоровья и положения в пространстве космонавтов, при срабатывании САС, как средство повышения безопасности. Для этих целей предполагается разработка узла беспроводной сенсорной сети «Спасение».

М.Л. Долженкова, В.Ю. Мельцов, Г.А. Чистяков
СХЕМА ПОТОКА ЛОГИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ
ДЛЯ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МЕТОДА
ВЫВОДА НА БАЗЕ ОПЕРАЦИИ ДЕЛЕНИЯ
ДИЗЬЮНКТОВ

Ключевые слова: логический вывод, деление дизъюнктов, потоковые вычисления, машина логического вывода.

В работе предлагается схема потока логических вычислений, описывающая процедуры метода логического вывода делением дизъюнктов на основе определяющего элемента. Построение данной схемы является одним из этапов проектирования, необходимым при разработке архитектуры абстрактной машины логического вывода, поддерживающей выполнение метода. В свою очередь наличие подобной архитектуры позволит реализовать машину как программно, так и программно-аппаратно или полностью аппаратно. При аппаратной поддержке, в большинстве случаев, возможно значительное снижение временных затрат на выполнение вывода за счет использования специализированных вычислителей на базе ПЛИС или СБИС.

application for distributed aerospace engineering product life cycle information support systems, solving the problems of cross-platform, fault tolerance, and autonomy of the client application at the same time.

E.V. Davydova, L.B. Strogonova
SOME QUESTIONS OF MATHEMATICAL
MODELING IN ENSURING THE SAFETY OF THE
CREW MANNED TRANSPORT SPACECRAFT
DURING THE PREPARATION FOR LAUNCH

Keywords: emergency at the start, the wireless sensor network, emergency rescue system.

Practice implementation of manned space flight shows that the problem of ensuring the safety of crews manned spacecraft as the complexity of flight software is becoming more urgent and difficult to implement in practice. The main problem of security is to ensure that no increase in duplicating circuits systems or increasing the number of test events or increasing resource systems does not increase the safety of work for the starting complex. The first task on the way to solve this problem - implementation in practice of Astronautics fundamentally new methods of remote monitoring and psychophysiological state of health and position in space astronauts, when triggered emergency rescue system, as a means to improve security. For these purposes, it is assumed to develop wireless sensor network node "Salvation".

M.L. Dolgenkova, V.Yu. Meltsov, G.A. Chistyakov
SCHEME OF LOGICAL CALCULATIONS FLOW
FOR THE GRAPHICAL REPRESENTATION OF THE
INFERENCE METHOD BASED ON DISJUNCTS
DIVISION OPERATION

Keywords: inference, disjuncts division, dataflow, inference engine.

The paper proposes the scheme of logical calculations flow describes procedures of the inference method based on the disjuncts division with defining element. The construction of this scheme is a one of stage that necessary for the development of abstract inference engine architecture that supports the execution of the method. In turn, the presence of the such engine architecture will allow implementing both software and soft hardware or completely hardware. With hardware support, in most cases, is possible to greatly reduction of the time spent on the execution inference through the using of specialized hardware on the FPGA or VLSI.

С.И. Дубинский, Я.Е. Григорьева
РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК,
УСИЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОМ НА СТАДИИ,
БЛИЗКОЙ К ИСЧЕРПАНИЮ НЕСУЩЕЙ
СПОСОБНОСТИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS

Ключевые слова: углепластик, усиление, исчерпание несущей способности, численное моделирование.

Представлены результаты экспериментального исследования и расчета в ПК ANSYS железобетонных балок, усиленных углепластиком на стадии, близкой к исчерпанию несущей способности. Выполнен анализ полученных данных.

И.В. Дуничкин, О.А. Егоричев, Д.А. Жуков
АНАЛИЗ ЗАСТРОЙКИ КВАРТАЛА LA DÉFENSE В
ПАРИЖЕ

Ключевые слова: Современная история архитектуры, высотная застройка, устойчивая архитектура

Идея была выражена в архитектурно-планировочном решении застройки, располагающейся на единой многоуровневой платформе. Строительство идет и сейчас дополняя застройку квартала, организованную вдоль пешеходной эспланады, продолжающую историческую ось Парижа «Путь Короля».

Г.Н. Жмаков
РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ
ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЛИВНЕВЫХ СТОКОВ
АЭРОПОРТОВ РОССИИ

Ключевые слова: поверхностный сток, очистные сооружения, предельно-допустимая концентрация, аккумулирующий резервуар, напорные скорые фильтры.

Особенностью загрязненности поверхностного стока аэропортов является наличие в стоке этиленгликоля (1,2-этанediол), поступающего в сток в результате антиобледенительной обработки воздушных судов. Традиционно, для удаления этиленгликоля рекомендуются – ионообменные фильтры, загруженные природным цеолитом – клиноптилолитом. Анализ технологии применения в аэропортах этиленгликоля и его химических свойств позволяет исключить стадию его удаления в схемах очистки поверхностного стока с территории аэропортов.

Е.Н. Журавлева
РЕШЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛИЗИРУЮЩИХ ЯДЕР.
ЗАДАЧА О ШТАМПЕ

Ключевые слова: Интегральные уравнения, метод ортогонализирующих ядер, штамп, упругая полуплоскость, упругий слой.

В данной работе для решения парных интегральных уравнений используется метод ортогонализации ядер с представлением косинус-преобразования Фурье в форме данной Планишерелем. Показано применение данного метода для решения задачи о штампе, лежащем на упругой полуплоскости и упругом слое.

S.I. Dubinskiy, Ya.E. Grigoreva
THE ESTIMATION OF THE CONCRETE BEAMS
STRENGTHENED WITH CARBON FIBER
REINFORCED POLYMERS AT THE STAGE CLOSE
TO ULTIMATE LIMIT STATE USING ANSYS

Keywords: carbon fiber reinforced polymers, strengthening, the stage close to ultimate limit state, numerical simulation.

The results of experimental research and ANSYS simulation of reinforced concrete beams strengthened on the stage close to ultimate limit state with carbon fiber reinforced polymers are presented in the issue. The data analysis is performed.

I.V. Dunichkin, O.A. Egorichev, B.A. Zhukov
ANALYSIS BUILDINGS OF QUARTER LA
DÉFENSE IN PARIS

Keywords: The modern history of architecture, high-rise building, sustainable architecture.

The idea has been expressed in architectural solution development, located on a single multi-level platform. Construction is now complementing the building quarter organized along the pedestrian esplanade, to continue the historical axis of Paris "Way of the King".

G.N. Zhmakov
PROJECT DEVELOPMENT AND
IMPLEMENTATION OF RAIN WASTEWATER
TREATMENT FACILITIES IN RUSSIAN AIRPORTS

Keywords: surface wastewater, wastewater treatment facilities, the maximum allowable concentration, storage tank, pressure fast filters

A special feature of the surface wastewater pollution in airports is the ethylene glycol (1,2-ethanediol) incoming into the wastewater as a result of aircraft de-icing handling. Generally, for ethylene glycol removal is recommended – ion-exchange filters loaded with natural zeolite - clinoptilolite. Analysis of the ethylene glycol application and its chemical properties used in airports eliminates the stage of its removing from surface wastewatertreatment circuit at the airports areas.

E.N. Juravleva
INTEGRAL EQUATION SOLUTION USING
ORTHOGONAL CORE'S METHOD. STAMP
PROBLEM

Keywords: integral equations, orthogonal core's method, stamp, elastic half space, elastic layer.

This paper proposes a solution for pair of integral equations using orthogonal core's method, where cosine Fourier transform is presented in Plancherel's form. The application of this method is shown in the solution of a stamp problem, which lays on elastic half-space and elastic layer.

Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, В.А. Ракитин
МЕТОДИКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ
ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЕЙ

Ключевые слова: выбора автомобилей, потребительские свойства, экспертные оценки.

В статье рассматривается проблема выбора автомобилей в зависимости от назначения. Проанализированы подходы к решению этой задачи. Предложена методика выбора автомобилей с учетом сравнительной оценки потребительских свойств на основе экспертных оценок.

А.А. Кабанов
ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ИЗДЕЛИЙ ЛА С
УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЯ НАСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ
ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ДИСКРЕТНОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ В ХОДЕ ИХ
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ

Ключевые слова: объектная модель, объектно-ориентированный анализ и декомпозиция, алгоритмическая декомпозиция, имитационное моделирование, явление наследования, изделия ЛА, производственные системы, эффективность.

Областью исследования работы являются: конструкторско-технологическое проектирование ЛА, технологическая подготовка производства, проектирование производственных систем предприятий аэрокосмической отрасли. В работе предложено комплексно рассматривать процесс материализации изделия и относить к изделию в том числе информацию о процессах его изготовления и о производственной системе изготовления изделия. Процессы организационно-технического проектирования изделия, процессов его изготовления, его производственной системы рассматриваются как эволюционирующие процессы на основе механизма наследования. Результатом работы является предложенная объектная модель изделия, имеющая статическое представление для отражения и «образмеривания» элементов ее структуры, и динамическое представление – для исследования ее поведения во времени с учетом возмущающих воздействий окружающей среды.

М.В. Ковба
ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВА ФОНОВЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ПАССИВНЫХ
ИНФРАКРАСНЫХ СРЕДСТВАХ ОБНАРУЖЕНИЯ

Ключевые слова: математическая модель, сигналообразование, средство обнаружения, кластерный анализ.

В работе предложена методика формирования массива фоновых поверхностей для исследования сигналообразования в пассивных инфракрасных детекторах, и представлены результаты ее экспериментального применения.

В.И. Колесов, Д.М. Новоселов, М.Л. Гуляев
СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ ПАССАЖИРОПЕРЕВОЗОК

N.S. Zakharov, O.A. Novoselov, V.A. Rakitin
A METHOD OF A COMPARATIVE ASSESMENT OF
CARS CONSUMER PROPERTIES

Keywords: a car choice, consumer properties, expert judgments.

In the article, the problem of cars choice according to purpose is considered. Approaches to this problem solution are analyzed. A method of cars choice, with a comparative assessment of consumer properties based on expert judgments taken into account, is offered.

A.A. Kabanov
AIRCRAFT ANALYSIS OBJECT MODEL
CONSIDERING THE PHENOMENA OF
INHERITANCE FOR THE EVALUATION AND
MANAGEMENT EFFICIENCY OF THE
PRODUCTION SYSTEMS OF DISCRETE
ENGINEERING DURING THEIR
ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL DESIGN
AND MODERNIZATION

Keywords: object model, object-oriented analysis and decomposition, algorithmic decomposition, simulation modeling, the phenomenon of inheritance, products of aircraft, production system, efficiency.

Area of study: engineering design aircraft, technological preparation of production, design of production systems aerospace industry. The paper suggested a comprehensive research process of materializing the product. Moreover, information about manufacturing process and production system manufacturing also relates to the product. Organizational and technical processes of product design, manufacturing processes, production systems of product are considered as evolving processes based on the mechanism of inheritance. The result is a proposed object model of product with a static representation for reflection and dimensioning elements of its structure, and a dynamic view to study its behavior in time with respect to disturbing environmental influences.

M.V. Kovba
BACKGROUND SURFACES ARRAY
CONSTRUCTION FOR SIGNAL'S
MATHEMATICAL MODELING OF PASSIVE
INFRARED DETECTORS

Keywords: mathematical model, signal formation, detection sensor, cluster analysis.

This article describes the background surfaces array construction method for researching signal formation in passive infrared detectors, and presents the results of its experimental application.

V.I. Kolesov, D.M. Novoselov, M.L. Gulyaev
SYSTEM ASPECTS IN THE PROBLEM OF
QUALITY MANAGEMENT
PASSENGER

Ключевые слова: качество, пассажироперевозки, методика.

В статье рассматривается подход к задаче управления качеством пассажироперевозок транспортом общего пользования с системных позиций. Получены интегральные оценки качества пассажироперевозок.

В.А. Корчагин, В.Н. Красовский
ГРАФ-МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АГРЕГАТОВ
АВТОМОБИЛЕЙ ПО МАРШРУТАМ РЕМОНТА С
УЧЕТОМ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ
НЕЙРОСЕТЕВОМ ПОДХОДЕ

Ключевые слова: предремонтное диагностирование, технологические маршруты ремонта, ремонт “по состоянию”, модели искусственных нейронных сетей. В данной статье представлены полученные модели математического аппарата искусственных нейронных сетей при нейросетевом подходе к решению задачи распределения агрегатов автомобилей (на примере двигателей ЯМЗ-238) по технологическим маршрутам ремонта при их централизованном ремонте по техническому состоянию.

В.Н. Коханенко, М.Ф. Мицик, М.А. Лемешко,
Е.В. Шевченко, Я.Ю. Лаврова
ГРАНИЧНАЯ ЗАДАЧА СВОБОДНОГО
РАСТЕКАНИЯ БУРНОГО ПОТОКА В ШИРОКОМ
РУСЛЕ С МАЛЫМ УКЛОНОМ ДНА

Ключевые слова: безнапорный режим течения, прямоугольная труба, свободное растекание, широкое русло с малым продольным уклоном, бурный потенциальный поток, потенциальное течение.

Предложен способ определения геометрии, глубины и скорости потока вдоль крайней линии тока в плоскости годографа скорости для бурного потенциального течения при его свободном растекании в широком отводящем русле в случае малого продольного уклона дна. Получена система уравнений для определения параметров потока вдоль крайней линии тока.

Е.Л. Кузнецова
СОПРЯЖЕННЫЙ ТЕПЛООБМЕН В
АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЕ

Ключевые слова: сопряженный теплообмен, анизотропное тело, тепловые потоки, теплопроводность

В данной работе на основе аналитического решения второй начально-краевой задачи теплопроводности в анизотропной пластине и простейшей задачи пограничного слоя предпринята попытка аналитически исследовать характерные особенности сопряженного теплообмена на границах анизотропных тел. Решение этой задачи особенно актуально для исследования проблемы тепловой защиты элементов конструкций современных гиперзвуковых летательных аппаратов, а также различных элементов энергетических систем и машиностроения.

Keywords: quality, passenger transportation, technique. The paper presents an approach to the problem of quality control of passenger transportation vehicles for general use with the system in zitsy. Integral assessment of the quality of passenger transportation.

V.A. Korchagin, V.N. Krasovsky
GRAPH-MODEL DISTRIBUTION UNITS OF THE
VEHICLES ON REPAIR ROUTES GIVEN THEIR
TECHNICAL CONDITION OF THE NEURAL
NETWORK APPROACH

Keywords: prerepair diagnosis, technological repair routes, “on-condition” repair, model of artificial neural networks.

This article presents a model mathematical apparatus of artificial neural networks with neural network approach to the problem of the distribution of units of vehicles (for example YaMZ-238) on technological routes repairs at their centralized on-condition repair.

V.N. Kohanenko, M.F. Mitsik, M.A. Lemeshko,
E.V. Shevchenko, Ya. Yu. Lavrova
BOUNDARY PROBLEM OF FREE SPREADING OF
THE ROUGH STREAM IN THE WIDE COURSE
WITH THE SMALL BIAS OF THE BOTTOM

Keywords: the free-flow mode of a current, a rectangular pipe, free spreading, the wide course with a small longitudinal bias, a rough potential stream, a potential current.

The way of definition of geometry, depth and speed of a stream along the extreme line of current in the speed godograf plane for a rapid potential current at its free spreading in the wide taking-away course in case of a small longitudinal bias of a bottom is offered. Analytical dependences for function of current and potential function are received.

E.L. Kuznetsova
THE INTERFACED HEAT EXCHANGE IN THE
ANISOTROPIC PLATE

Keywords: the interfaced heat exchange, an anisotropic body, thermal streams, heat conductivity

In this work on the basis of the analytical solution of the second initial and regional problem of heat conductivity in an anisotropic plate and the simplest problem of an interface an attempt analytically to investigate characteristics of the interfaced heat exchange on borders of anisotropic bodies is made. The solution of this task especially actually for research of a problem of thermal protection of elements of designs of modern hypersonic aircraft, and also various elements of power systems and mechanical engineering.

Т.С. Кумыков, Р.И. Паровик
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ
АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ВО ФРАКТАЛЬНЫХ
ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ

Ключевые слова: коалесценция, теория Лифшица-Слезова-Вагнера, фрактальная размерность, математическая модель.

В работе предложена новая модель образования аэрозольных частиц в грозовых облаках. Модель учитывает фрактальные свойства грозовых облаков, а ее решение было получено с помощью численных методов дробного исчисления. Построены новые профили расчетных кривых, которые согласуются с классической теорией коалесценции (теории Лифшица-Слезова-Вагнера).

В.А. Курочкин
РЕАЛИЗАЦИЯ БЮДЖЕТНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: автоматизация, система управления, абстрагирование.

В работе представлены рекомендации и примеры реализации распределенной системы управления на микроконтроллерах или отладочных платах широкого потребления. Предложено решение по абстрагированию датчиков, исполнительных механизмов и других элементов системы управления.

В.В. Ланин
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ
РАБОТЫ АНАЛИТИКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: проектная документация, разработка информационных систем, обработка естественного языка.

В статье описан подход к реализации системы, автоматизирующей обработку проектной документации аналитиком при анализе предметной области и проектировании информационной системы. Анализ документации осуществляется на основе обработки естественного языка, специально разработанного предметно-ориентированного языка и онтологических ресурсов. В результате работы системы выделяются связи между документами и производится семантическая индексация документов, на основе которой аналитик сможет легко ориентироваться в документах, быстро найти необходимые разделы документов, проверить непротиворечивость и полноту требований.

С.В. Лановецкий
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОЛИЗА МАРГАНЦЕВОГО РАСТВОРА НА
РАЗМЕР ЧАСТИЦ ДИОКСИДА МАРГАНЦА

Ключевые слова: сульфат марганца, диоксид марганца, электролиз.

Исследован процесс получения высокодисперсных частиц MnO_2 из раствора сульфата марганца. Установлено влияние состава раствора электролита, плотности тока, времени процесса и материала электродов на размер частиц диоксида марганца и выход готового продукта.

T.S. Kumikov, R.I. Parovik
MATHEMATICAL MODEL OF FORMATION
AEROSOL PARTICLES FRACTAL STORM CLOUDS
Keywords: coalescence, Lifshitz-Slezov-Wagner theory, fractal dimension, the mathematical model.

The paper proposes a new educational model of aerosol particles in thunderclouds. The model takes into account the fractal properties of the storm clouds, and its solution was obtained by numerical methods of fractional calculus. Built new profiles calculated curves that are consistent with the classical Lifshitz -Slezov-Wagner theory.

V.A. Kurochkin
IMPLEMENTATION LOW-COST DISTRIBUTED
CONTROL SYSTEM

Keywords: automation, control system abstraction.
The paper presents the recommendations and examples of distributed control system on inexpensive microcontrollers or evaluation boards consumer. Provides a solution for the abstraction of sensors, actuators and other elements of the control system.

V.V. Lanin
INTELLIGENT SYSTEM OF ANALYST SUPPORT
IN INFORMATION SYSTEM DESIGN

Keywords: design documentation, information system development, natural language processing.

The paper describes an approach to the implementation of a system that automates the processing of design documentation. Documentation analysis is based on natural language processing, specially developed object-oriented language and ontological resources. As a result, the system highlights linkages between the documents and its semantic indexing. Users get an opportunity of easily navigate through documents, quickly find the necessary parts of them, and check the consistency and completeness of requirements.

S.V. Lanovetskiy
INFLUENCE STUDY OF MANGANESE SOLUTION
ELECTROLYSIS CONDITIONS ON MANGANESE
DIOXIDE PARTICLE SIZE

Keywords: manganese sulfate, manganese dioxide, electrolysis.

The process of obtaining finely dispersed particle MnO_2 from the solution of manganese sulfate has been studied. The influence of the electrolyte solution composition, current density, process life and material of the electrodes on the particle size manganese dioxide and the product yield was established.

С.В. Лекомцев, Д.О. Панов, М.Ю. Симонов,
И.Н. Шардаков

СПОСОБЫ ДОСТИЖЕНИЯ НИЖНЕГО
БЕСКАРБИДНОГО БЕЙНИТА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ
ВИДОВ СТАЛЕЙ

Ключевые слова: бейнитная структура, дилатометрические и металлографические эксперименты, нестационарная теплопроводность. В работе представлены результаты экспериментальных исследований, позволившие для двух марок стали определить температурные режимы, обеспечивающие формирование структуры нижнего бескарбидного бейнита (НБКБ). На основе результатов численного решения задачи нестационарной теплопроводности с использованием полученных экспериментальных результатов определены условия, обеспечивающие возможность получения структуры НБКБ в цилиндрических заготовках различных размеров при остывании на воздухе.

S.V. Lekomtsev, D.O. Panov, M.Yu. Simonov,
I.N. Shardakov

DIFFERENT WAYS TO ACHIEVING OF LOWER
CARBIDE-FREE BAINITE FOR SPECIAL STEELS

Keywords: bainite, dilatometric and metallographic experiments, transient heat transfer. The paper deal with experimental results, which allowed to determine for two types of steel the temperature regimes to ensure the formation of the structure of lower carbide-free bainite. Based on the results of numerical solution of transient heat conduction equation and experimental results, we determined the conditions ensuring the possibility of obtaining the lower carbide-free bainite structure in cylindrical workpieces of different sizes during the cooling on air.

Е.Н. Леонов

ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ
СОЗДАНИИ МАЛЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ
МЕТОДОЛОГИИ КОГЕНЕРАЦИИ

Ключевые слова: малая электротехническая система, когенерация, интеграция, виртуальная электростанция. Рассмотрен вопрос объединения малых электротехнических систем и комплексов на основе методологии когенерации в виртуальную электростанцию и необходимые для этого интеграционные технологии. Дана оценка положительных эффектов от такого объединения, а также сдерживающих факторов развития технологии.

E.N. Leonov

INTEGRATION TECHNOLOGIES AT CREATION
OF SMALL ELECTROTECHNICAL SYSTEMS AND
COMPLEXES ON THE BASIS OF COGENERATION
METHODOLOGY

Keywords: small electrotechnical system, cogeneration, integration, virtual power plant. Association of small electrotechnical systems and complexes on the basis of cogeneration methodology in virtual power plant and integration technologies necessary for this purpose is considered. The assessment of positive effects from such association, and also limiting factors of development of technology is given.

З.Р. Лихов, В.Х. Хуранов, М.И. Бжахов,
А.Я. Джанкулаев

УЧЕТ ПОЛНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
МАТЕРИАЛОВ В АЛГОРИТМЕ РАСЧЕТА
ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ключевые слова: комбинированное преднапряжение, полные диаграммы деформирования, изгибаемые железобетонные элементы. В статье предлагается алгоритм расчета с учетом полных диаграмм деформирования бетона и предварительно напрягаемой высокопрочной арматурной стали используемых для разработки методики расчета железобетонных элементов с комбинированным преднапряжением.

Z.R. Likhov, V.Kh. Khouranov, M.I. Bzhahov,
A.J. Dzhankulaev

ACCOUNTING COMPLETE DIAGRAMS
DEFORMATION OF MATERIALS IN THE
ALGORITHM FOR CALCULATING FLEXURAL
REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Keywords: the combined pretension, full charts of deformation, the bent ferroconcrete elements. In this paper we propose an algorithm based on the calculation of the total strain diagrams of concrete and prestressed high-strength reinforcing steel used for the development of methods of calculation of reinforced concrete elements combined prestressing.

В.В. Ломакин, И.С. Шаповалова, О.С. Резниченко,
Н.А. Клименко

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ
КОРПОРАТИВНОЙ КУЛЬТУРОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Ключевые слова: организационная культура, системы поддержки принятий решений, база данных, модель данных. Статья посвящена описанию процесса проектирования системы поддержки принятия

V.V. Lomakin, I.S. Shapovalova, O.S. Reznichenko,
N.A. Klimenko

DESIGN OF SUPPORT DECISION-MAKING
SYSTEM FOR MANAGEMENT OF ORGANIZATION
CULTURE

Keywords: organizational culture, decision support systems, database, data model. Article is devoted to process of design of decision-making support system for management of organization culture. This decision-making support system will allow

решений при управлении корпоративной культурой организации, которая в итоге позволит улучшить моральный и деловой климат организации, повысить производительность труда персонала и общую экономическую эффективность организации.

А.В. Макаренко, М.А. Быковский, А.К. Редькин
ГРАФЫ СОСТОЯНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ СИСТЕМ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Ключевые слова: технология лесозаготовок, моделирование технологических процессов, графы состояний.

В работе представлены графы состояний систем лесозаготовительных машин при моделировании технологического процесса лесозаготовок на базе многооперационных и многофункциональных машин.

В.В. Малышев, А.В. Федоров, Р.А. Егоров
МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ КА ПРИ ПАРИРОВАНИИ ВНЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ

Ключевые слова: мониторинг состояния, космический аппарат, экспертная система, искусственный интеллект, онтология, база знаний, семантическая сеть.

Рассматривается модель управления и диагностики состояния бортовых систем космического аппарата при возникновении внештатной ситуации на основе системы искусственного интеллекта. Приводится онтология интеллектуальной системы оперативного управления и диагностики бортовых систем КА как модели организационной деятельности, которая позволяет выполнить задачу по повышению надежности и эффективности парирования нештатных ситуаций в процессе управления полетом КА.

А.О. Махорин, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев
СИМУЛЯЦИЯ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ С УЧЕТОМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ

Ключевые слова: многошлюзовая беспроводная самоорганизующаяся сеть, симуляция, имитационное моделирование, математическая модель, оптимизация.

В статье приведены основные положения симуляции многошлюзовых беспроводных самоорганизующихся сетей произвольной топологии с учетом решения задачи выбора оптимальных параметров сети на основе принципов дискретно-событийного и агентного моделирования. Рассмотрено применение событийно-ориентированного программирования при построении симуляторов. Приведен пример моделирования БСС для космической системы.

А.О. Махорин, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ УЗЛОВ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ В

improving moral and business atmosphere of the organization, to increase labor productivity of the personnel and the overall economic efficiency of the organization.

A.V. Makarenko, M.A. Bykovskiy, A.K. Redkin
STATE GRAPHS FOR MODELING THE SYSTEMS OF HARVESTING MACHINES

Keywords: harvesting technology, modeling processes, state graphs

The paper presents the state graphs of systems of harvesting machines in the modeling process of logging on the basis multioperation and multifunction machines.

V.V. Malishev, A.V. Fedorov, R.A. Egorov
MODEL OF INTELLECTUAL CONTROL BASED ON THE DIAGNOSIS OF THE STATE OF ONBOARD SYSTEMS SPACECRAFT DURING EMERGENCY SITUATIONS PARRYING

Keywords: condition monitoring, spacecraft, expert systems, artificial intelligence, ontology, knowledge base, semantic network.

The model of control and diagnostics of the systems on board the spacecraft in emergency situations, based on artificial intelligence. Given ontology intelligent system of operational control and diagnostic systems on board the spacecraft as a model of organizational activity, which allows to perform a task to improve the reliability and efficiency of countering emergency situations during flight control of spacecraft.

A.O. Makhorin, S.N. Padalko, M.N. Terentiev
COMPUTER SIMULATION OF A MULTI-GATEWAY WIRELESS AD HOC NETWORK BASED ON SOLUTION OF AN OPTIMIZATION PROBLEM TO DETERMINE OPTIMAL NETWORK PARAMETERS

Keywords: multi-gateway wireless ad hoc network, simulation modeling, mathematical model, optimization. *This article considers main aspects of computer simulation of multi-gateway wireless ad hoc networks based on solution of an optimization problem to choose optimal network parameters. The computer simulation is based on principles of discrete-event and agent modeling and implemented with an event-oriented programming paradigm. An example of simulation modeling of a network used in an aerospace system is given.*

A.O. Makhorin, S.N. Padalko, M.N. Terentiev
PROBLEM FORMULATION FOR OPTIMIZING NODE PLACEMENT IN A MULTI-GATEWAY WIRELESS AD HOC NETWORK USED IN AN AEROSPACE SYSTEM

АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Ключевые слова: Беспроводная самоорганизующаяся сеть, мониторинг космических объектов, оптимизация, целочисленное программирование.

Ключевой особенностью рассматриваемых в настоящей работе беспроводных самоорганизующихся сетей (БСС) является способность сохранять целостность/связанность их узлов в условиях изменения как конфигурации объекта обслуживания, на котором они размещены, так и радиопомех среды его функционирования. Названные условия особо характерны для аэрокосмических систем, подверженных как взаимным перемещениям их компонент, так и внешним воздействиям различного рода источников радиопомех. В связи с чем одним из основных назначений рассматриваемых БСС является обеспечение мониторинга аэрокосмических систем.

Решаемая в работе задача состоит в определении минимального количества и, соответственно, мест размещения узлов БСС из условий обеспечения заданного уровня надежности доставки информации от сенсоров сети до центра сбора и обработки информации.

Большинство известных подходов к решению такого рода задач основаны на эвристических алгоритмах, поэтому изменения в постановке задачи, связанные с вводом в рассмотрение дополнительных ограничений делают их неприменимыми. В статье рассмотрена постановка задачи размещения узлов многоузловой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе в классе линейных целочисленных моделей с двоичными переменными, которая одновременно обеспечивает возможности как модификации модели путем добавления новых ограничений, так и применение таких мощных средств оптимизации как ILOG CPLEX или IBM OSL.

А.Л. Медведский, Г.В. Федотенков, А.А. Матушкин,
В.В. Терентьев

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ
АЭРОУПРУГОГО ТОРМОЖЕНИЯ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ СПУСКЕ В
АТМОСФЕРЕ

Ключевые слова: спускаемый космический аппарат, системы аэроупругого торможения, расчетная схема, расчет на прочность, нелинейные системы уравнений, метод конечных элементов.

Проведен расчет на прочность нового перспективного космического аппарата, оснащенного системой аэроупругого торможения. Разработаны расчетные схемы, предложена и реализована методика расчета основных и дополнительных аэроупругих тормозных устройств при входе и движении аппарата в плотных слоях атмосферы. Предложенные методы обладают универсальностью и могут быть применены к расчету любых спускаемых аппаратов с аэроупругими тормозными устройствами.

Keywords: wireless ad hoc network, monitoring of space systems, optimization, integer programming.

This article considers wireless ad hoc networks whose a key feature is the ability to keep node integrality/connectivity in the conditions of changing the object configuration as well as the radio noise level in the monitoring area. Such conditions are especially typical for aerospace systems subject to movements of their components and external influence of radio noise sources of different kind. Due to that one of main purposes of the considered networks is to monitor aerospace systems.

The problem studied in the article is to determine minimal number and, respectively, the network node places under conditions of providing necessary reliability to render information from sensors to the data processing center.

Most known approaches to solution of such problem are based on heuristics, so any change in the problem formulation (e.g. by adding extra constraints) makes it inappropriate. The formulation of the problem for optimizing node placement in a multi-gateway wireless ad hoc network proposed in the article is based on a class of binary programming linear models that allows easily changing the formulation as well as solving the model with powerful state-of-the-art solvers like ILOG CPLEX and IBM OSL.

A.L. Medvedskiy, G.V. Fedotenko, A.A. Matushkin,
V.V. Terentiev

STRENGTH CALCULATIONS BRAKING SYSTEM
AEROELASTIC SPACECRAFT DURING RE-ENTRY

Keywords: lander spacecraft, system aerouprugogo braking, design scheme, strength calculation, non-linear system of equations, finite element method.

The calculation of the strength of a promising new spacecraft equipped with an aeroelastic braking. Developed calculation schemes, proposed and implemented method of calculating basic and advanced aeroelastic braking devices at the entrance and movement of the device in the dense layers of the atmosphere. The developed methods have the versatility and can be applied to the calculation of any landers with aeroelastic brakes.

А.Л. Медведский, Г.В. Федотенков, В.В. Терентьев,
С.О. Фирсюк

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОСАДОЧНОГО
УСТРОЙСТВА ПЕРСПЕКТИВНОГО
СПУСКАЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В
УСЛОВИЯХ ПОСАДКИ НА ГРУНТ**

*Ключевые слова: спускаемый космический аппарат,
посадочное устройство, удар о грунт,
нестационарное напряженно-деформированное
состояние, метод конечных элементов, расчет на
прочность, расчет на устойчивость.*

На основе метода конечных элементов проведено моделирование напряженно-деформированного состояния посадочного устройства перспективного спускаемого космического аппарата при контакте с грунтом. Предложена методика и проведен расчет на прочность и устойчивость корпусных элементов посадочного устройства. Предложенная методика обладает универсальностью и может быть применена к расчету аналогичных спускаемых аппаратов с оценкой прочности и устойчивости при посадке на грунт.

Мин Тейн

**ОПТИМИЗАЦИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ТРАЕКТОРИИ
ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА
СИСТЕМУ ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИХ ОРБИТ**

*Ключевые слова: космический аппарат, исследование
Солнца, схема полета, гравитационный маневр,
гелиоцентрическая орбита.*

В статье предлагается вариант выведения космического аппарата на систему рабочих гелиоцентрических орбит с целью изучения Солнца. Космический аппарат делает один или несколько витков вокруг Солнца на каждой орбите из этой системы. Эти орбиты имеют относительно небольшой радиус перигелия и большое наклонение. При выведении космического аппарата на систему таких орбит применяется транспортная космическая система с большим запасом характеристической скорости. Для уменьшения требуемой характеристической скорости используется последовательность гравитационных маневров у Земли и Венеры.

С.С. Михалевич, С.А. Байдали

**МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА
ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ В МНОГОСВЯЗНЫХ САУ**

*Ключевые слова: ПИД-регулятор, многосвязная
система автоматического управления, управления,
запас устойчивости по фазе, частота среза,
эффективная передаточная функция.*

В работе представлена методика параметрического синтеза ПИД-регуляторов в многосвязных САУ. Работоспособность методики проиллюстрирована на примере синтеза системы автоматического управления колонным аппаратом. Проведено сравнение с существующими подходами.

A.L. Medvedskiy, G.V. Fedotenkov, V.V. Terentiev,
S.O. Firsyuk

**MODELING THE STRESS-STRAIN STATE OF THE
LANDING DEVICE OF PERSPECTIVE SPACE
VEHICLE IN LANDING ON GROUND**

*Keywords: lander spacecraft, landing gear, hitting the
ground, time-dependent stress-strain state, finite element
method, calculation of strength, stability analysis.*

Stress-strain state simulation of the landing gear prospective landing spacecraft in contact with the ground by FEM. The technique and calculated on the strength and stability of the housing elements of the landing gear. The proposed method is universal and can be applied to the calculation of similar landers with an estimate of the strength and stability when landing on the ground.

Min Thein

**OPTIMIZATION OF IMPULSIVE TRAJECTORY
FOR SPACECRAFT INSERTION INTO THE
SYSTEM OF OPERATIONAL HELIOCENTRIC**

*Keywords: spacecraft, Sun, flight path, gravity assist
maneuver, heliocentric orbit.*

The paper deals with the spacecraft insertion into the system of operational heliocentric orbits for Sun exploration. Spacecraft makes one or more revolutions around the Sun on each orbit. These orbits are characterized by a relatively small radius of perihelion and high inclination. Space transportation system with a high characteristic velocity is required to launch a spacecraft into such a system of heliocentric orbits. The possibility of reducing the required characteristic velocity by using a sequence of gravity assists maneuvers at Earth and Venus.

S.S. Mikhalevich, S.A. Baydali

PID TUNING METHOD FOR MIMO SYSTEMS

*Keywords: PID controller, MIMO control system, phase
margin, crossover frequency, effective open-loop
transfer function.*

An article presents PID tuning method for MIMO control systems. Efficiency of proposed method proved in PID control system of Vinnate and Lyuben distillation column. There are a comparison with several modern and conventional PID tuning methods.

С.С. Михалевич, С.А. Байдали
**НАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ В
 ИНТЕРВАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**
*Ключевые слова: ПИД-регулятор, интервальный
 объект управления, запас устойчивости по фазе,
 частота среза, функция чувствительности.*

В статье представлен критерий оценки качества интервальных систем. На основании этого критерия был составлен функционал, позволяющий отыскать оптимальные запас устойчивости по фазе и частоту среза для настройки ПИД-регулятора известной методикой. Работоспособность предлагаемого метода подтверждается теоретическим примером. Предлагаемый метод предназначен для настройки ПИД-регуляторов в системах с запаздыванием.

В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков
**ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ
 ПРОЦЕССОВ В ОСЕВОМ ВЕНТИЛЯТОРЕ**
*Ключевые слова: композиционные материалы, осевой
 вентилятор, Ansys CFX, градирия, Clark-Y, ЦАГИ-13,
 аэродинамический профиль, метод конечных
 элементов, охлаждение.*

В работе представлены результаты газодинамического расчета осевого вентилятора. В ходе поискового вычислительного эксперимента рассчитана аэродинамика нескольких десятков вариантов конструкции. Проведен анализ взаимосвязи различных геометрических параметров лопасти, такие как форма, ширина и высота профиля аэродинамического профиля, контура и размеров лопасти вентилятора на характеристики потока, расход воздуха и требуемую мощность привода вентилятора. По результатам проделанной была выбрана аэродинамическая форма лопасти, которая обеспечивает заданный расход воздуха и энергопотребление.

В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков
**РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
 СОСТОЯНИЯ ОСЕВОГО ВЕНТИЛЯТОРА**
*Ключевые слова: композиционные материалы, осевой
 вентилятор, Ansys Workbench, напряженно-
 деформированное состояние, градирия, метод
 конечных элементов, охлаждение.*

В работе представлены результаты расчета напряженно-деформированного состояния лопасти вентилятора крупногабаритного нагнетателя, изготовленного из композиционного материала. В ходе поискового вычислительного эксперимента рассчитаны несколько десятков вариантов конструкций. По результатам проделанной работы выбрана конструкция лопасти, которая удовлетворяет требованиям прочности и технологии изготовления.

П.А. Мошков
**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
 АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОЙ
 УСТАНОВКИ СВЕРХЛЕГКОГО САМОЛЕТА В
 СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**
Ключевые слова: воздушный винт, шум воздушного

S.S. Mikhalevich, S.A. Baydali
PID TUNING METHOD FOR INTERVAL SYSTEMS
*Keywords: PID controller, interval plant, phase margin,
 crossover frequency, sensitivity function.*

An article presents assessment criterion for interval control systems. Functional, that allows to find optimum phase margin and crossover frequency for PID tuning by presented assessment criterion was developed. Efficiency of proposed method proved in theoretical example. Proposed method allows to find PID controller parameters in control systems with delay.

V.Ya. Modorskiy, A.F. Shmakov
**NUMERICAL CALCULATION OF GASDYNAMIC
 PROCESSES IN AXIAL THE FAN FROM
 COMPOSITE**

*Keywords: composite materials, axial fan, Ansys CFX,
 cool tower, Clark-Y, CAGI-13, airfoil, finite element
 technique, cooling.*

In this article results of gasdynamic calculation of the axial fan are presented. During search computing experiment aerodynamics of several tens options of a design is calculated. The analysis of interrelation of various geometrical parameters of the blade, such as a form, width and height of a profile of an aerodynamic profile, contour and the sizes of the blade of the fan on characteristics of a stream, air flow and fan drive power required. By results of the done the aerodynamic form of the blade what provides the set consumption of air and energy consumption.

V.Ya. Modorskiy, A.F. Shmakov
**CALCULATION OF STRESS-STRAIN STATE OF
 AXIAL FANS**

*Keywords: composite materials, axial fan,
 Ansys Workbench, stress-strain state, cool tower, finite
 element technique, cooling.*

The paper presents the results of the calculation of the stress-strain state fan blades of large-size supercharger made of composite material. During search computing experiment are calculated several tens options of designs. By results of the done work the design of the blade which meets requirements of durability and manufacturing techniques is chosen.

P.A. Moshkov
**SOME RESULTS OF THE EXPERIMENTAL
 RESEARCH OF ACOUSTICAL CHARACTERISTICS
 POWER PLANT EXTRALIGHT AIRCRAFT IN
 STATIC CONDITIONS**
*Keywords: a propeller; propeller noise; piston power
 plant noise; light propeller aircrafts noise.*

винта, шум поршневого силового установок, шум легких винтовых самолетов.

В статье представлены результаты первоначальной обработки данных, полученных при проведении акустических испытаний силового установок (СУ) сверхлегкого самолета «МАИ-223М» в статических условиях, выполненных на аэродроме МАИ. Представлены энергетические, спектральные, а также характеристики направленности акустического поля силового установок самолета. Акустическое поле СУ самолета определяется, в основном, излучением в области низких частот. В этой области частот максимальная спектральная плотность соответствует излучению на частотах кратных частоте следования лопастей винта, а также частотам, излучение на которых обусловлено работой поршневого двигателя. Установлена существенная роль поршневого двигателя в низкочастотном шуме силового установок (16-250 Гц) сверхлегкого самолета. Предложены методы снижения шума на местности сверхлегкого самолета.

П.А. Мошков, А.А. Яковлев

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ КАПОТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ НА
АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
АВИАЦИОННОЙ ПОРШНЕВОЙ СИЛОВОЙ
УСТАНОВКИ**

Ключевые слова: шум поршневого силового установок, шум легких винтовых самолетов.

В статье представлены результаты экспериментально исследования влияния капотирования двигателя на акустические характеристики авиационной поршневой силового установок. Выполнена оценка вклада основного тона двигателя в суммарную звуковую мощность силового установок сверхлегких самолетов «МАИ-223М» и «МАИ-890У». Предложен способ снижения шума на местности сверхлегкого самолета «МАИ-890У».

П.А. Мошков, А.А. Яковлев

**К ВОПРОСУ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ШУМА ВОЗДУШНОГО ВИНТА**

Ключевые слова: воздушный винт, шум воздушного винта, шум легких винтовых самолетов.

В статье рассмотрена проблема численного расчета шума воздушного винта, дан краткий обзор механизмов генерации шума воздушным винтом и существующих аналитических моделей численного расчета шума воздушного винта. Сформулированы основные направления дальнейших расчетных исследований, направленных на следующем этапе работ на тестирование возможности прогнозирования аэродинамических и акустических характеристик воздушных винтов в коммерческих программных комплексах (ANSYS, Numeca, FlowVision).

А.А. Наненков, В.М. Готовцев, В.Д. Сухов,
А.И. Сазонов

**ЭФФЕКТ СТРУКТУРИРОВАНИЯ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ключевые слова: структура композитных

In the article results of the initial data handling, the acoustical tests by extralight aircraft «MAI-223M» power plant (PP) received at conducting in the static conditions which have been carried out in aerodrome MAI are introduced. Energy, spectral, and also directional characteristics of power plant acoustic field by aircraft are introduced. The acoustic field of the aircraft PP is determined, in the core, low-frequencies radiation. In this frequencies range the maximum spectral density corresponds to radiation on frequencies multiple to frequency of blades-passing by propeller, and also frequencies radiation on which is caused by piston engine running. The essential role of the piston engine in low-frequency noise of an extralight aircraft power plant (16-250 Hz) is installed. Decrease methods of community noise by the extralight aircraft are offered.

P.A. Moshkov, A.A. Jakovlev

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF EFFECT OF THE
NOSE-OVER OF THE ENGINE ON ACOUSTICAL
CHARACTERISTICS OF THE AVIATION PISTON
POWER PLANT**

Keywords: piston power plant noise; light propeller aircrafts noise.

In the article results of an experimental research of effect of a nose-over of the engine on acoustical characteristics of an aviation piston power plant are introduced. The estimation of the contribution of fundamental tone of the engine in total sound power of a power plant of extralight aircrafts «MAI-223M» and «MAI-890U» is executed. The community noise abatement way of extralight plane «MAI-890U» is offered.

P.A. Moshkov, A.A. Jakovlev

**TO THE QUESTION OF NUMERICAL MODELLING
OF PROPELLER NOISE**

Keywords: propeller, propeller noise, light propeller aircrafts noise.

In the article the problem of numerical calculation of the propeller noise is observed, the short review of generation mechanism of noise by a propeller and existing analytical models of numerical calculation of the propeller noise is given. Main routes of the further design researches directed at the first stage on testing of a capability of forecasting of aerodynamic and acoustic characteristics of propellers in mercantile program complexes (ANSYS, Numeca, FlowVision) are formulated.

А.А. Наненков, В.М. Готовцев, В.Д. Сухов,
А.И. Сазонов

**EFFECT OF COMPOSITE STRUCTURIZATION
MATERIALS**

Keywords: structure of composite materials, structuring

материалов, структурирование композита, строение асфальтобетона

Сформулированы требования к оптимальной структуре композиционных материалов, наполненных частицами. На примере асфальтобетона экспериментально подтвержден эффект структурирования композита. Предложен способ получения упорядоченной упаковки частиц наполнителя в структуре композиционного материала.

А.А. Наненков, В.М. Готовцев, В.Д. Сухов,
А.И. Сазонов

МЕХАНИЗМ СТАРЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Ключевые слова: асфальтобетон, старение асфальтобетона, восстановление асфальтобетона.

В работе рассмотрены существующие представления о старении высокомолекулярных материалов, включающие процессы деструкции и структурирования под влиянием внешних воздействий. Установлено, что «старый» асфальтобетон способен частично или полностью на молекулярном уровне восстанавливать свои свойства.

В.С. Наумов, Т.А. Наумова, И.В. Нестеров

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ СБОРНЫХ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КЛИНОВИДНЫХ БЛОКОВ

Ключевые слова: клиновидный блок, дискретный базис, проектная ось тоннеля, пространственная кривая.

В отечественной и зарубежной практике тоннелестроения широко применяются сборные обделки на базе универсальных клиновидных колец, позволяющие использовать только один типовой клиновидный блок на всех участках трассы тоннеля, которая может включать в себя не только прямолинейные, но и сложные участки, задаваемые пространственной кривой. Использование этого типа конструкций позволяет добиться высоких темпов строительства подземных транспортных линий, а так же повысить качество и точность проходки тоннеля. Статья посвящена вопросам совершенствования численных методов формирования пространственной геометрии этого типа конструкций и пространственной геометрии этого типа конструкций и программной реализации в среде графического редактора AutoCAD.

О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Ключевые слова: запасные части, транспортно-технологические машины, модели закономерностей.

В статье рассматривается проблема снабжения запасными частями при использовании транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче. Выявлены основные закономерности, формирующие расход запасных частей. Предложены модели этих закономерностей.

of the composite, structure of asphalt concrete.

The requirements for the optimal structure of composite materials-filled particles. On the example of the former asphalt concrete experimentally confirmed the effect of structuring the composite. The pre-proposed method of obtaining an ordered packing of the filler particles in the composite material structure.

A.A. Nanenkov, V.M. Gotovtsev, V.D. Sukhov,
A.I. Sazonov

AGING MECHANISM OF ASPHALT CONCRETE

Keywords: asphalt, aging asphalt blacktop Sun-formation.

The paper discusses the current understanding of the aging of macromolecular materials, including the processes of decomposition and structuring under the influence of external influences. It was established that the «old» asphalt able to partially or completely on the molecular-level restore their properties.

V.S. Naumov, T.A. Naumova, I.V. Nesterov

GENERATION OF GEOMETRY OF TUNNEL LINING BASED ON WEDGE-SHAPED BLOCKS

Keywords: wedge-shaped rings, discrete basis, design of tunnel axis, space-curve.

The wedge-shaped rings are widely used in practice of modern tunnel construction. They permit to use only one uniform type of wedge-shaped block both for straight and space-curved segments of tunnel. Application of these structures gives the opportunity to manage a high speed, quality and accuracy of tunnel construction. The given article is devoted to the problem of space geometry of the structures of such kind and program implementation of it in AutoCAD software environment

О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова

REGULARITIES OF SPARE PARTS EXPENDITURE FORMING FOR TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MACHINES

Keywords: spare parts, transport-technological machines, regularities models.

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. Models of these regularities are offered.

А.Н. Паршуков

СИНТЕЗ МОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ПРИ
НАЛИЧИИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ОПИСАНИЯ В ОБЪЕКТЕ
УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: робастность, модальный регулятор, структурно-параметрическая неопределенность.
В настоящей статье разработана вычислительная технология исследования робастного качества управления в условиях структурно-параметрической неопределенности описания в объекте управления. Полученные в работе результаты позволяют реализовать процедуру проверки робастного качества управления на ЭВМ.

В.Ф. Пегашкин, И.И. Вендер, Е.В. Пегашкина
ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО
ПРИПУСКА МЕЖДУ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО
ВЫПОЛНЯЕМЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ ОБРАБОТКИ
ОТВЕРСТИЯ

Ключевые слова: механическая обработка, припуск, стойкость инструмента.
Представлено аналитическое решение задачи определения припусков при последовательной обработке детали на нескольких операциях обработки отверстия. Методика расчета предполагает получение величины стойкости инструментов на последовательных операциях, связанные между собой заранее определенным соотношением с учетом ограничивающих параметров. Приведен алгоритм последовательности расчетов.

А.Г. Поздеев, И.М. Шарафутдинов, А.Ю. Ржепкин
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ
МОДЕЛЬ ФЛЮИДИЗАЦИОННОГО
СКОРОМОРОЗИЛЬНОГО АППАРАТА

Ключевые слова: заморозка продуктов, заморозка растительного сырья, флюидизационный скороморозильный аппарат, информационно-технологическая модель, автоматизация расчетных методик.
Обоснована необходимость информационно-технологического обеспечения расчетов холодильных установок, что позволит осуществлять оперативное регулирование рабочих параметров оборудования в широком диапазоне. Приводится листинг MathCAD-программы расчета параметров технологического процесса заморозки различных продуктов в зависимости от вводимых характеристик холодильной установки. Определены параметры процессов, осуществляемых во флюидизационном скороморозильном аппарате при заморозке растительного сырья.

А.Г. Поздеев, И.М. Шарафутдинов, А.Ю. Ржепкин
РАСЧЕТ РЕБРИСТО-ТРУБНОГО
ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ В ПРИКЛАДНОЙ СРЕДЕ
MATHCAD

Ключевые слова: холодильное оборудование, ребристо-трубный воздухоохладитель, теплообменник, автоматизированная методика расчета.
Представлены результаты в области разработки информационно-технологического обеспечения

A.N. Parshukov

THE MODAL CONTROLLER DESIGN IN CASE
STRUCTURAL-PARAMETER UNCERTAINTY OF
OBJECT CONTROL

Keywords: robustness, modal controller, structural-parameter uncertainty.
This paper presents computing technology calculate and analysis of robust performance in case structural-parameter uncertainty of object control. The results may be realized on computer.

V.F. Pegashkin, I.I. Vender, E.V. Pegashkina
OPTIMIZATION OF SEPARATION OF THE
GENERAL ALLOWANCE BETWEEN SUCCESSIVE
PROCESSING OPERATIONS PERFORMED BY
HOLE

Keywords: mechanical treatment, an allowance, the tool life.
Presented analytical solution of the task of determining the allowances on sequential processing of multiple operations on parts of the hole. Method of calculation involves getting the persistence tool for sequential, related value based on the predefined restriction settings. The algorithm of calculation sequence.

A.G. Pozdeev, I.M. Sharafutdinov, A.Yu. Rzhepkin
INFORMATION-TECHNOLOGICAL MODEL OF
FLUIDIZING QUICK-FREEZING MACHINE

Keywords: freezing of products, freezing of vegetable raw materials, fluidizing quick-freezing machine, information-technological model, automation of design methods.
The necessity of information-technological support of designing the refrigerating units is substantiated. It allows to adjust efficiently the working parameters of the equipment in a wide range. The article contains the listing of the parameters of freezing of different products depending on the input characteristics of the refrigerating unit, made in MathCAD. The parameters of freezing of the vegetable raw materials in the fluidizing quick-freezing machine are determined.

A.G. Pozdeev, I. M. Sharafutdinov, A. Yu. Rzhepkin
DESIGN OF GILLED-TUBE AIR COOLER IN
MATHCAD APPLICATION ENVIRONMENT

Keywords: refrigerating equipment, gilled-tube air cooler, heat-exchange machine, an automated design procedure.
The article contains the results of the development of information-technological support of designing the heat-exchange machines. Program for designing the

расчетов теплообменных аппаратов. В прикладной программной среде MathCAD составлена программа расчета параметров ребристо-трубного воздухоохладителя в составе мобильной малогабаритной скороморозильной установки. Использование представленных автоматизированных методик при расчете технологического оборудования агропромышленных комплексов позволяет оперативно определять параметры рабочих процессов и подбирать требуемые для исходного сырья. Представлены результаты расчета параметров охлаждаемого воздуха в зависимости от вводимых характеристик воздухоохладителя с учетом расчетных характеристик хладагента.

parameters of the gilled-tube air cooler included in the mobile small quick-freezing machine was written in MathCAD application environment. The use of these automated procedures in design of manufacturing equipment for agro-industrial complexes allows to determine the work process-related parameters and to select the required ones for the feedstock. The article gives the results of design of the cooled air parameters depending on the input characteristics of the air cooler, taking into account the design characteristics of the coolant.

Е.А. Портнов, А.Н. Блазнов, В.Ф. Савин, О.В. Старцев
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ
АРМИРОВАННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ
ВОЛОКНАМИ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: стеклопластики, углепластики, усталостная прочность, циклические испытания, продольный изгиб.

В работе приведены результаты усталостных испытаний стеклопластика строительного назначения и углепластика авиационного назначения с помощью метода продольного изгиба. Предложены аппроксимирующие выражения для определения усталостной прочности композитов в зависимости от количества циклов нагружений.

E.A. Portnov, A.N. Blaznov, V.F. Savin, O.V. Startsev
FATIGUE STRENGTH OF INORGANIC FIBER-
REINFORCED POLYMER COMPOSITES

Keywords: fiberglass plastics, fatigue strength, cyclic tests, longitudinal bending.

The results of fatigue tests of constructional fiberglass plastic and aircraft-grade carbon-fiber plastic using the longitudinal bending technique are reported. Approximating expressions to measure fatigue strength of the composites as a function of the number of load cycles are suggested.

В.Г. Рубан, А.М. Матва
ПОСТРОЕНИЕ КОНФОРМНЫХ ПРОФИЛЕЙ
ЭЛЕКТРОВОЗНОГО КОЛЕСА И РЕЛЬСА

Ключевые слова: профиль колеса и рельса, динамика железнодорожного экипажа, моделирование, снижение износа.

В статье рассмотрены теоретические вопросы разработки криволинейного профиля колеса, с целью повышения ресурса бандажей колесных пар электровоза. Исследованы условия построения конформных профилей колеса и рельса, обеспечивающие устойчивость в прямых участках пути и снижение сил взаимодействия гребней с рельсами в кривых.

V.G. Ruban, A.M. Matva
CONSTRUCTION OF CONFORMAL PROFILE
WHEEL OF ELECTRIC LOCOMOTIVE AND RAIL

Keywords: wheel and rail profile, railway vehicle dynamics, modeling, reduced wear.

The article deals with the theoretical problems of constructing a curvilinear profile of the wheel, in order to increase resource of bandages locomotive wheelsets. Investigated conditions for constructing conformal wheel and rail profiles to ensure stability in the straight sections of the path and decrease the interaction forces ridges of wheels with rails in curves.

Н.О. Сапоженков, А.Н. Макарова
ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА
НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Ключевые слова: электрооборудование автомобилей, сезонные условия, запасные части.

В статье рассмотрено влияние температуры воздуха и интенсивности эксплуатации на поток отказов элементов электрооборудования автомобилей. Разработаны рекомендации по организации снабжения запасными частями с учетом сезонных условий.

N.O. Sapozhenkov, A.N. Makarova
SEASONAL CONDITIONS INFLUENCE ON
RELIABILITY OF CARS ELECTRICAL EQUIPMENT
ELEMENTS

Keywords: electrical equipment of cars, seasonal conditions, spare parts.

In the article, the influence of air temperature and operation rate on failure flow of cars electrical equipment elements is considered. Recommendations on spare parts supply organization, with seasonal conditions taken into account, are developed.

С.Б. Сборщиков
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ

S.B. Sborshikov
INTENSIFICATION OF CONSTRUCTION OF
FACILITIES OF NUCLEAR POWER.
ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL
DECISIONS

Ключевые слова: атомная энергетика, строительство, организационно-технологическое проектирование, управление.

Энергетическая отрасль нашей страны постоянно развивается, в настоящее время ведутся работы по сооружению 10-ти новых энергоблоков. Тем не менее, необходимо констатировать недостаточное качество организационно-технологических решений при строительстве подобных объектов. Интеграция методологий технологии, организации и экономики строительства позволит получить синергетический эффект, который должен будет проявиться в снижении сроков и стоимости возведения новых энергоблоков.

О.Р. Середкина, М.А. Куликов, С.Г. Козлов,
О.К. Косвинцев

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ ГАЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ

Ключевые слова: сивинитовая обогатительная фабрика, процесс солеотложения, рентгенофазовый анализ, фазовый состав отложений.

Кратко рассматривается работа сивинитовой обогатительной фабрики первого Соликамского калийного рудоуправления ОАО «Уралкалий». Обозначена проблема солеотложения на внутренних поверхностях теплообменного оборудования фабрики. Установлен фазовый состав отложений из трубного пространства подогревателей маточного раствора, основным компонентом которых является сульфат кальция.

И.Н. Сидоров, В.В. Туктарова
ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ
КОЭФФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ И
ДЕМПФИРОВАНИЯ ОПОР РАЗГОННО-
БАЛАНСИРОВОЧНОГО СТЕНДА ПРИ
БАЛАНСИРОВКЕ ГИБКИХ РОТОРОВ

Ключевые слова: балансировка гибких роторов, коэффициенты жесткости и демпфирования стоек опор.

В работе представлен алгоритм идентификации коэффициентов жесткости и демпфирования стоек опор разгонно-балансировочного стенда, необходимый для пересчета значений параметров вибрации валопровода, замеренных на корпусах стоек на истинные параметры вибрации вала и балансировке гибких роторов на околокритических и рабочих частотах.

Р.А. Сизякин, В.В. Воронин, В.И. Марчук,
С.Р. Ибадов, Р.Р. Ибадов, И.С. Свирин
ОБНАРУЖЕНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ДЕФЕКТОВ
НА ФОТОГРАФИЯХ НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНЫХ
БИНАРНЫХ ШАБЛОНОВ

Ключевые слова: реконструкция, локальные бинарные шаблоны, обнаружение дефектов, изображения.

В статье рассмотрен метод детектирования искажений на архивных фотодокументах с помощью текстурного анализа на основе локальных бинарных окрестностей. Предлагаемый подход состоит из

Keywords: nuclear power, construction, organizational and technological design, management.

The power branch in our country constantly develops. Now works on a construction of 10 new power units are conducted. Nevertheless, it is necessary to state insufficient quality of organizational and technological decisions when building similar objects. Integration of methodologies of technology, the organization and economy of construction will allow to gain synergetic effect which will have to be shown in decrease in terms and the cost of construction of new power units.

O.R. Serechkina, M.A. Kulikov, S.G. Kozlov,
O.K. Kosvintsev

THE PHASE COMPOSITION OF DEPOSITS ON HEAT TRANSFER EQUIPMENT HALURGICAL PRODUCTION POTASSIUM CHLORIDE

Keywords: sylvinitе concentrating mill, the process of scaling, X-ray analysis, phase composition of sediments.

The work of the First Sylvinitе Concentrating Mill of Potash Mine Group OJSC «Uralkali» in Solikamsk was briefly reviewed. The problems scale deposition on the heat-exchange equipment inside was designated. The phase composition of the sediments from the tube space heaters stock solution, the main component of which is calcium sulfate, has been determined.

I.N. Sidorov, V.V. Tuktarova
ITERATIVE ALGORITHMS OF IDENTIFICATION
OF STIFFNESS COEFFICIENT AND DAMPING OF
STRUTS OF ACCELERATION BALANCER WHEN
BALANCING FLEXIBLE ROTORS

Keywords: balancing flexible rotors, rigidity and damping coefficients of support struts.

In the article presented identification algorithm of coefficients of stiffness and damping of supports struts acceleration balancer needed for converting the values of vibration parameters shafting, that measured on the hulls of struts, to the true parameters of shaft vibration and balancing flexible rotors at near-critical and working frequencies.

R.A. Sizyakin, V.V. Voronin, V.I. Marchuk,
S.R. Ibadov, R.R. Ibadov, I.S. Svirin
DEFECT DETECTION AND PHOTOGRAPH
RECONSTRUCTION BASED ON LOCAL BINARY
PATTERNS

Keywords: reconstruction, local binary patterns, defect detection, image.

The paper presents a method of detecting distortions on archival photo documents using texture analysis based on local binary patterns. The proposed approach consists of the following steps: filtering and defects

следующих этапов: предварительная обработка, обнаружение царапин и их реконструкция. Предварительная обработка используется для уменьшения влияния шума и небольших дефектов на изображении. Для распознавания класса дефектов используется метод опорных векторов. Показана эффективность нового подхода на нескольких примерах при обнаружении дефектов.

А.Д. Сиразетдинова, В.С. Кравцов
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ В СИСТЕМЕ УЧЕТА
ВАГОНОВ С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ ЗАТРАТ
ВРЕМЕНИ В ПУНКТАХ ПОГРУЗКИ

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, вагоны, разметка, собственники подвижного состава. В статье предлагается внести временные признаки на вагоны в целях сокращения нерациональных организационных и маневровых операций, отражающие техническое состояние вагонов. Данные мероприятия позволят дистанционно более точно определять возможность погрузки требуемого груза в вагоны, предоставляемые операторами подвижного состава.

А.Д. Сиразетдинова, М.В. Фуфачева
ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ СИСТЕМЫ
МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ
ДЛЯ РАБОТНИКОВ СТРУКТУРНЫХ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ КРАСНОЯРСКОГО ФИЛИАЛА
ОАО «РЖД»

Ключевые слова: курсанты, группа, методы, система, менеджмент, управление, безопасность движения, восприятие.

В статье рассматриваются особенности проведения занятий в Центре дополнительного профессионального образования КрИЖТ ИрГУПС по вопросам Системы менеджмента безопасности движения для работников структурных подразделений Красноярского филиала ОАО «РЖД». Раскрывается методика проведения занятий, сложности и наработки при разноплановых группах и методы повышения эффективности проведения занятий и управления техническими аудитам в структурных подразделениях.

Т.А. Смирнова
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ
КОНСТРУКЦИИ БОТИНОК ДЛЯ КАТАНИЯ НА
РОЛИКОВЫХ КОНЬКАХ

Ключевые слова: роликовые коньки, повышение комфорта, разгружающая стелька.

В работе представлены результаты изучения потребительских предпочтений при выборе обуви для катания на роликовых коньках, выявлены наиболее проблемные участки, вызывающие травмирование мягких тканей и дискомфорт. Для повышения уровня комфорта и снижения риска травм усовершенствованы элементы конструкции ботинок для катания на роликовых коньках.

detection. Filtering is used to reduce the effects of noise and small defects in the image. To recognize the class of defects using a support vector machine. The effectiveness of the new approach with several examples defect detection.

A.D. Sirazetdinova, V.S. Kravtsov
DEVELOPMENT ACTIVITIES IN THE
ACCOUNTING SYSTEM WAGONS TO REDUCE
THE TIME SPENT IN LOADING POINTS

Keywords: railway transport, wagons, signs, owners of rolling stock

In this paper we propose to make temporary signs on wagons in order to reduce unsustainable organizational and maneuvering O operations represent the state of the wagons. These allow meropriyatiya remotely determine more accurately the possibility of loading-required cargo wagons provided by operators of rolling stock.

A.D. Sirazetdinova, M.V. Fufacheva
TEACHING MANAGEMENT SYSTEM OF SAFETY
FOR EMPLOYEES OF STRUCTURAL UNITS OF
THE KRASNOYARSK BRANCH OF JSC "RUSSIAN
RAILWAYS"

Keywords: cadets, group practices, systems, management, control, safety, perception.

This article discusses the features of classes in the Center for Continuing Professional Education KrIZhT IrGUPS on safety management systems for employees of structural units of the Krasnoyarsk branch of JSC "Russian Railways". Discloses a technique of conducting classes, complexity and operating time at diverse groups and methods to improve the effectiveness of the training and management of the technical audit in subdivisions.

T.A. Smirnova
IMPROVED DESIGN ELEMENTS OF BOOTS FOR
ROLLER SKATES

Keywords: roller skates, increase level of comfort, corrective insole.

In the article I presented the results of consumer demands in roller skates comfort. Analyzed the main problem areas are causing injury to the soft tissues. Improved design elements of roller skates for increased level of comfort and reducing the risk of injury.

Е.Н. Созинова

ВЫЯВЛЕНИЕ РИСКОВ И ИХ АНАЛИЗ ПРИ ПОСТРОЕНИИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Ключевые слова: система управления информационной безопасностью, управление рисками, анализ рисков, оценка рисков.

В статье рассматривается анализ рисков, как один из важных элементов системы управления информационной безопасностью. Перечисляются основные этапы анализа рисков информационной безопасности. Даются определения таким понятиям, как: риск информационной безопасности, анализ рисков, оценка рисков.

**А.В. Солнцева, С.А. Борминский
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЗАПОЛНЕНИЯ РЕЗЕРВУАРА НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ОТРАЖЕННОГО ОТ КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДЫ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА**

Ключевые слова: уровень, резервуар, акустический импульс, спектральная плотность, преобразование Фурье.

В статье предлагается метод измерения уровня заполнения резервуара, основанный на импульсном зондировании контролируемой жидкой среды. Метод основывается на спектральной обработке информации о зондирующем и отраженном от жидкой среды акустических импульсах. Расчет уровня жидкости в емкости производится по разности между фазовыми составляющими спектральных плотностей зондирующего и отраженного импульсов.

В.А. Столярчук

ПОДСИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФРОНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Ключевые слова: CAD/CAE-система, метод конечных элементов, триангуляция, открытое программное обеспечение, фронтальный метод.

В работе представлено краткое описание модуля учебно-исследовательской программной системы, предназначенной для подготовки разработчиков CAD/CAE-систем, используемых авиационно-космической отрасли. Назначение модуля – триангуляция плоской области фронтальным методом с оценкой качества сетки. В процессе эксплуатации подсистемы получен большой методический опыт и накоплен определенный научный результат.

С.А. Федосин, С.А. Ямашкин

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА БАЗЕ ДАННЫХ ДЗЗ

Ключевые слова: моделирование, системный подход, землепользование, данные дистанционного зондирования, извлечение данных.

В статье предложена модель технологического процесса решения задачи моделирования структуры землепользования на базе данных ДЗЗ, включающая этапы определения проблемной ситуации,

E.N. Sozinova

IDENTIFICATION OF RISKS AND THEIR ANALYSIS AT CONSTRUCTION AND FUNCTIONING OF A CONTROL SYSTEM OF INFORMATION SECURITY

Keywords: control system of information security, risk management, risk analysis, assessment of risks.

In article risk analysis as one of important elements of a control system of information security is considered. The main analysis stages of risks of information security are listed. Definitions are given to such concepts, as: risk of information security, risk analysis, assessment of risks.

A.V. Solntseva, S.A. Borminsky

MEASUREMENT METHOD OF TANK INFILL BASED ON SPECTRUM ANALYSIS OF ACOUSTIC IMPULSE REFLECTED FROM THE CONTROLLED MEDIUM

Keywords: level, tank, reservoir, acoustic impulse, spectral density, Fourier transformation.

The article describes method of tank infill measurement based on impulse exploration of controlled medium. Method is based on spectral analysis of information about impulses, both sounding and reflected from liquid medium. Tank infill level is calculated from the difference between the phase components of spectral densities of sounding and reflected impulses.

V.A. Stolyarchuk

FRONTAL METHOD FINITE ELEMENT MESH GENERATION SUBSYSTEM

Keywords: CAD/CAE system, finite element method, triangulation, open source software, frontal method.

The paper provides a brief subsystem description of the teaching and research software system designed to train the developers of CAD/CAE systems used in aerospace industry. The purpose of the subsystem – triangulation of the plane domain with frontal method with quality assessment of finite element mesh. During the operation of the subsystem huge amount of methodical experience has been gained and some scientific results have been accumulated.

S.A. Fedosin, S.A. Yamashkin

THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SOLVING THE PROBLEM OF LAND USE MODELING BASED ON REMOTE SENSING DATA

Keywords: modeling, systematic approach, land use, remote sensing data, data mining.

In this paper we propose a model of the technological process of solving the problem of the land use structure modeling based on remote sensing data, which includes the steps of determining a problem situation, the formation of the original data generation and output

формирования исходных данных, генерации и анализа выходных данных и использование полученного результата.

В.Н. Хмелёв, С.С. Хмелёв, Р.Н. Голых,
Ю.М. Кузовников, Д.С. Абраменко, К.А. Карзакова
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В
КАВИТИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
КОНСТРУКЦИЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРОТОЧНЫХ
РЕАКТОРОВ

Исследование выполнено при финансовой поддержке
РФФИ в рамках научного проекта
№ 14-08-31521 мол_a

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, вязкие
жидкие среды, проточный реактор, кольцевые
отражатели.

В статье описан конечно-элементный подход к моделированию распространения акустических колебаний в кавитирующей среде. Предложенный подход позволил установить распределения кавитационных зон в проточных реакторах различных конструкций, и разработать конструкцию, обеспечивающую увеличение объёма зоны развитой кавитации в высоковязких средах до 3 раз согласно результатам моделирования.

В.Н. Хмелёв, Р.Н. Голых, А.В. Шалунов,
В.А. Нестеров, А.В. Шалунова, Е.В. Ильченко
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
КАВИТАЦИОННЫХ ПУЗЫРЬКОВ С ГРАНИЦЕЙ
РАЗДЕЛА «ЖИДКОСТЬ-ГАЗ» ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ
РЕЖИМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ
МАКСИМАЛЬНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ
КОНТАКТА ФАЗ

Исследование выполнено при финансовой поддержке
РФФИ в рамках научного проекта
№14-08-31716 мол_a

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, капиллярная
волна, абсорбция.

В статье описана разработанная математическая модель взаимодействия кавитационных пузырьков с границей раздела «жидкость-газ». Модель позволила выявить режимы ультразвукового воздействия, обеспечивающие увеличение поверхности контакта фаз более чем в 3 раза.

В.Х. Хуранов, М.И. Бжахов, А.Я. Джанкулаев,
З.Р. Лихов

НОВОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ РАВНОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ

Ключевые слова: равное сопротивление,
железобетонная балка, полигональное очертание.

В работе рассмотрено конструктивное решение железобетонной балки с полигональным очертанием верхнего пояса. По своим характеристикам представленная балка практически соответствует элементам равного сопротивления. При сравнении с существующими аналогичными конструкциями выявлена существенная экономия материалов.

analysis and the use of the result.

V.N. Khmelev, S.S. Khmelev, R.N. Golykh,
Y.M. Kuzovnikov, D.S. Abramenko, K.A. Karzakova
THE USING OF FINITE ELEMENT MODELING OF
ACOUSTIC OSCILLATIONS PROPAGATION IN
CAVITATING MEDIUM FOR DEVELOPMENT OF
ULTRASONIC FLOW REACTORS
CONSTRUCTIONS

The research was partially supported by RFBR, project
No. 14-08-31521 mol_a

Keywords: ultrasonic, cavitation, viscous liquids,
technological capacity.

In the article, finite element approach to modelling of acoustic oscillations propagation in cavitating medium. Proposed approach provides calculation of cavitation areas distributions in different flow reactors and development of flow reactor which provides 3 times increasing of advanced cavitation zone volume.

V.N. Khmelev, R.N. Golykh, A.V. Shalunov,
V.A. Nesterov, A.V. Shalunova, E.V. Ichenko
THE STUDY OF INTERACTION BETWEEN
CAVITATION BUBBLES AND LIQUID-GAS
BOUNDARY AIMED AT EVALUATION OF MODES
PROVIDING MAXIMUM INCREASE INTERPHASE
SURFACE

The research was supported by RFBR,
project No. 14-08-31716 mol_a

Keywords: ultrasonic, cavitation, capillary wave.

In this article, the developed model of interaction between cavitation bubbles and liquid-gas surface was described. The model provides evaluation of optimum ultrasonic influence modes which cause more than 3 times surface increasing.

V.Kh. Khouranov, M.I. Bzhahov, A.J. Dzhankulaev,
Z.R. Likhov

MODERN DESIGN FOR REINFORCED CONCRETE
BEAMS OF EQUAL STRENGTH

Keywords: equal resistance, reinforced concrete beam, a
polygonal shape.

This article examines the constructive solution of reinforced concrete beams with a polygonal outline of the upper zone. According to its characteristics represented by beam elements corresponds almost equal resistance. When compared with substantially the same materials found substantial savings.

И.Ф. Шакиров, Н.С. Захаров
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА
РАСХОД ТОПЛИВА СПЕЦИАЛЬНЫХ
АВТОМОБИЛЕЙ АЭРОПОРТОВ

Ключевые слова: расход топлива, специальные автомобили аэропортовых служб.

Приведены факторы, влияющие на расход топлива. Получены математические модели закономерностей влияния факторов на расход топлива. Представлены графики моделей.

А.Ф. Шароварников, Д.А. Корольченко, А.В. Бяков
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ
НЕФТЕПРОДУКТОВ ПЕНОЙ НА ОСНОВЕ
ФТОРСИНТЕТИЧЕСКИХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ЧЕРЕЗ ГАЗОВО-СОЛЕВОЙ СЛОЙ ВОДЫ

Ключевые слова: тушение нефтепродуктов; газово-солевой слой воды; закономерности тушения пламени нефтепродуктов; пенообразователь.

В результате лабораторных экспериментов установлены закономерности и механизм тушения пламени нефтепродуктов через газово-солевой слой воды. Сделан вывод об определяющей роли поверхностной активности пенообразователей в обеспечении надежного тушения пламени пеной при подаче ее в основание резервуара через этот слой. Определено время тушения нефтепродукта, складывающееся из времени насыщения газово-солевого слоя воды поверхностно-активными веществами и собственно времени ликвидации горения.

А.М. Эльшейх
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И
ФОРМИРОВАНИЯ 4D ГРАФИКА СТРОИТЕЛЬСТВА

Ключевые слова: календарный график, планирование, BIM, 4D график.

Это исследование предлагает компьютерную технологию, которая может помочь специалистам по планированию строительного производства решать задачи планирования и формирования 4D графика строительства, используя данные хранящиеся в информационной модели здания (BIM).

А.Б. Юн, С.В. Захарьян, В.А. Чен, Л.М. Каримова,
И.В. Терентьева

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ МЕДИ ИЗ
СМЕШАННЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАСКОРА

Ключевые слова: смешанная руда, флотация, выщелачивание, раствор, извлечение.

В статье рассмотрен метод переработки смешанных руд месторождения Таскора, включающий флотацию руды с получением кондиционного концентрата с извлечением меди 20,6 % и сернокислотное выщелачивание хвостов контрольной флотации с получением продуктивного раствора с извлечением в него меди 84,5 – 85,2 %.

Выщелачивание проводили раствором серной кислоты с концентрацией 60-80 г/дм³ в течение 2- 4 часов при содержании 60,0 – 90,0 % твердого в пульпе.

I.F. Shakirov, N.S. Zakharov
MATHEMATICAL MODELS OF INFLUENCE
FACTORS ON FUEL CONSUMPTION OF SPECIAL
PURPOSE VEHICLES OF THE AIRPORTS

Keywords: fuel consumption, special purpose vehicles of the airports.

Factors affecting the fuel consumption were identified. Identified mathematical models of influence factors on fuel consumption. Presented graphics of models.

A.F. Sharovarnikov, D.A. Korol'chenko, A.V. Byakov
THE ANALYSIS OF OIL SUPPRESSION BY
AQUEOUS FILM FORMING FOAM THROUGH THE
GAS-SALT WATER LAYER

Keywords: suppression of oil products; tank; gas-salt water layer; regularities and procedure of suppression of oil products flame; foam agent.

As a result of laboratory experiments, regularities and procedure of suppression of oil flame through a gas-salt water layer are determined. Conclusion about defining role of surface activity of foam agents in guaranteeing of reliable flame suppression by foam in process of its supplying into the bottom of tank through a gas-salt water layer is drawn. Time of oil product suppression which includes the time of saturation of a gas-salt water layer by surface-active substances and the time of burning elimination is defined. It is revealed that foam rising through a gas-salt water layer in an initial timepoint loses the part of active substance (mainly hydrocarbon component) and partially destructs. Influence of hardness salts on a superficial tension of foam agent solutions is shown.

A.M. Elsheikh
AUTOMATED CONSTRUCTION PLANNING AND
4D SCHEDULING

Keywords: scheduling, planning, BIM, 4D scheduling. This research presents a computer-based framework that can help construction planners in creating the construction planning and 4D scheduling automatically by using data stored in building information model (BIM).

A.B. Yun, S.V. Zaharyan, V.A. Chen, L.M. Karimova,
I.V. Terentieva

STUDY ON COPPER RECOVERY FROM MIXED
ORE OF TASKORA DEPOSIT

Keywords: mixed ore, flotation, leaching, solution, extraction.

The Paper presents a method of processing mixed ores of Taskora deposit including ore flotation with conditioned concentrate obtaining with copper recovery of 20,6 % and sulfuric acid leaching of tailings of control flotation obtaining productive solution with the copper recovery 84,5 – 85,2% in it.

Leaching was carried out with the help of sulfuric acid having a concentration of 60-80 g/dm³ during 2 to 4 hours at a content of solids in the slurry of 60,0 – 90,0%.

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

№6 2014

Направления:

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

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 22.12.2014 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

21,9 усл.печ.л. 25,3 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1635.

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»